

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

THÈSE PRÉSENTÉE À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DU DOCTORAT EN GÉNIE
Ph. D.

PAR
Ahmed CHERIFI

CONTRIBUTION À LA RECHERCHE D'OUTILS DE MISE EN PLACE D'UNE
DÉMARCHE D'ÉCOCONCEPTION AU SEIN DES ENTREPRISES POUR UNE
MEILLEURE APPROPRIATION

MONTREAL, LE 07 AVRIL 2015



Ahmed Cherifi, 2015



Cette licence [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) signifie qu'il est permis de diffuser, d'imprimer ou de sauvegarder sur un autre support une partie ou la totalité de cette œuvre à condition de mentionner l'auteur, que ces utilisations soient faites à des fins non commerciales et que le contenu de l'œuvre n'ait pas été modifié.

PRÉSENTATION DU JURY

CETTE THÈSE A ÉTÉ ÉVALUÉE

PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Mickaël Gardoni, directeur de thèse
Département de génie de la production automatisée, École de technologie supérieure

M. Amin Chaabane, président du jury
Département de génie de la production automatisée, École de technologie supérieure

M. Mathias Glaus, membre du jury
Département Génie de la construction, École de technologie supérieure

M. Mohammed Benhaddadi, membre du jury
École polytechnique de Montréal

M. Alexandre Joyce, examinateur externe
Institut de développement de produits, Montréal

ELLE A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 13 MARS 2015

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord mon directeur de recherche M. Mickael Gardoni, professeur au département de génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure à Montréal, pour m'avoir encadré et accompagné tout au long de ces années. Je lui exprime mon extrême reconnaissance pour ses précieux conseils, pour sa disponibilité et les échanges intéressants qui m'ont permis d'acquérir des compétences techniques et d'ouvrir ma vision vers une culture industrielle.

Je tiens également à remercier les membres de jury qui ont accepté d'examiner ma thèse, M. Amin Chaabane, M. Mathias Glaus, M. Mohammed Benhaddadi, et M. Alexandre Joyce.

Mes remerciements vont également à la Fondation des Universités de Québec pour leur soutien financier à travers le programme de bourses dont j'ai bénéficié pendant le déroulement de cette thèse.

Je remercie tous mes collègues du laboratoire LIPPS à l'École de technologie supérieure. Je remercie en particulier Luz-Maria Jiménez-Narvaez, Mario Dubois et Lorena Escandon pour les moments passés ensemble, notamment pendant la compétition des 24H de l'innovation, depuis l'année 2012.

Et un très grand merci à toute ma petite famille qui m'a soutenue pendant ces longues années. Je les remercie pour leur patience. Je voudrais manifester ma reconnaissance à mes parents, frères et sœurs qui m'ont, sans cesse encouragés à avancer.

CONTRIBUTION À LA RECHERCHE D'OUTILS DE MISE EN PLACE D'UNE DÉMARCHE D'ÉCOCONCEPTION AU SEIN DES ENTREPRISES POUR UNE MEILLEURE APPROPRIATION

Ahmed CHERIFI

RÉSUMÉ

Au stade de la conception d'un produit ou à la mise en place d'un procédé, la dimension environnementale prend une place de choix. Tout le cycle de vie est important pour définir sa consommation des ressources naturelles, énergétiques et ses retombées sur l'environnement. De nombreux outils sont disponibles mais peu utilisés par les entreprises et la collectivité, du fait du niveau de maîtrise requis, notamment lorsqu'il s'agit de faire une évaluation environnementale multicritère qui exige beaucoup de données, de temps et de moyens. Ceci peut freiner certaines entreprises, notamment les PME, à pérenniser l'intégration de la dimension environnementale dans la conception du produit. De plus, peu d'outils se penchent sur la génération d'idées avec une prise en charge des paramètres liés à l'utilisateur et le concepteur ou l'entreprise, en tant qu'acteurs dans la mise en place de l'écoconception.

Notre problématique de recherche a été élaborée à partir d'une analyse approfondie des outils d'écoconception existant et des contradictions lors des choix de conception et de la prise en compte des impacts environnementaux. Plusieurs méthodes sont proposées mais il y a un constat de non appropriation par les utilisateurs et une difficulté d'intégration au sein des entreprises. A partir de cette problématique, notre travail est une contribution à la recherche d'une démarche par l'utilisation et/ou l'adaptation d'outils dits de préconisation, pour permettre la recherche de solutions d'écoconception à même de générer de l'innovation.

Notre démarche s'appuie sur une évaluation simplifiée des impacts en considérant une analyse globale, multicritère, et prenant en compte la dimension utilisateur. La méthode TRIZ (théorie de résolution de problèmes inventifs) viendra en aval pour soutenir cette matrice d'évaluation simplifiée, dans le but d'une démarche éco-innovante.

Le choix de cette démarche, dicté par la difficulté rencontrée lors de l'évaluation des impacts, où les résultats traduits en axes de conception peuvent être contradictoires.

La vérification des résultats obtenus a été faite par application à diverses situations de brevets publiés en écoconception et le suivi des équipes d'étudiants qui répondent à des défis présentés pendant la compétition « 24H de l'innovation ».

Enfin, nous avons proposé une trousse à outils qui pourra aider à générer des solutions éco-innovantes lors de séances de créativité.

Mots clés: éco-innovation, Triz, écoconception, ACV

CONTRIBUTION TO RESEARCH TOOLS FOR INTRODUCTION AN ECO- DESIGN APPROACH WITHIN COMPANIES FOR GREATER OWNERSHIP

Ahmed CHERIFI

ABSTRACT

At the stage of the establishment of a process design, environmental dimension takes a prominent place. Entire life cycle is important to define its consumption of natural energy resources and its impact on the environment. Many tools are available but not used by businesses and the community, due to the level of proficiency of expert level, especially when it comes to environmental assessment multi-criterion that requires a lot of data, time and resources. This may slow down some enterprises, especially SMEs, to sustain the integration of environment into the design of the product. Furthermore, few tools are addressing idea generation with support for user-related parameters and the designer or the company as an actor in the implementation of ecodesign.

Our research question was developed from a comprehensive analysis of the eco-design tools and contradictions in design choices driven by innovation and consideration of environmental impacts.

This work is a contribution to the search for an approach by the use or adaptation of known improvement tools, to enable searching of eco-design solutions to even generate innovation and enable the appropriation and integration in enterprises and users.

Our approach is based on a simplified impact assessment considering a multi-global analysis, and taking into account the user dimension. TRIZ (Theory of Inventive Problem solving) come downstream to support the simplified evaluation matrix, to an eco-innovative approach.

The choice of this approach, dictated by the difficulty in assessing impacts, where the results translated into design axes can be contradictory.

Verification of results by application to various situations of patents published in eco-design and monitoring of student teams that meet the challenges presented during the competition "*les 24Heures de l' innovation.*"

Finally, we propose a toolkit that can help generate eco-innovative solutions in creative sessions.

Keywords: Ecoinnovation, Triz, Eco-design, LCA

TABLE DES MATIÈRES

| | Page |
|---|------|
| INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE 1 LA CONCEPTION PASSE PAR L'ÉCOCONCEPTION DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE | 7 |
| 1.1 L'écoconception..... | 7 |
| 1.1.1 L'écoconception dans le contexte réglementaire | 8 |
| 1.1.1.1 Définition | 8 |
| 1.1.1.2 Les principes de l'écoconception | 9 |
| 1.2 Le développement durable..... | 11 |
| 1.2.1 Le développement durable au sein de l'entreprise..... | 12 |
| 1.2.2 La conception et le développement durable..... | 15 |
| 1.3 Les différentes approches d'écoconception | 15 |
| 1.3.1 Approche de Bras..... | 16 |
| 1.3.2 Approche de Brezet..... | 17 |
| 1.3.3 Approche de Millet | 21 |
| 1.3.4 Approche de Wiggum | 23 |
| 1.4 La Recherche d'écocoefficience..... | 24 |
| 1.5 L'approche multicritère des impacts environnementaux | 25 |
| 1.6 Les outils d'écoconception | 26 |
| 1.6.1 Caractérisation des outils d'écoconception..... | 27 |
| 1.6.2 Les outils mis en œuvre en écoconception | 28 |
| 1.6.3 Les outils recensés et leur classification | 29 |
| 1.6.3.1 Les outils d'analyse et de l'évaluation..... | 29 |
| 1.6.3.2 Les outils d'amélioration | 32 |
| 1.6.3.3 Les différents types de classification des outils d'écoconception préconisés | 32 |
| CHAPITRE 2 DIFFICULTÉ D'INTÉGRATION DE L'ÉCOCONCEPTION AU SEIN DES PME: PROPOSITION DE CLASSIFICATION D'OUTILS | 35 |
| 2.1 Intégration de l'aspect environnemental dans un processus de conception..... | 35 |
| 2.2 Complexité de la dimension environnementale dans l'activité de conception | 36 |
| 2.3 Le raisonnement multicritère, multi-étape et la complexité par rapport à l'écoconception | 38 |
| 2.4 L'environnement comme une dimension non maîtrisée dans l'amélioration | 38 |
| 2.4 du produit | 38 |
| 2.5 Difficulté d'appropriation des outils d'écoconception au sein des entreprises..... | 39 |
| 2.5.1 Multitudes d'outils et difficulté d'usage par le concepteur | 39 |
| 2.5.2 Difficulté d'adéquation des outils avec la réalité industrielle..... | 40 |
| 2.5.3 Difficultés liés à l'utilisation de l'ACV lors des premières phases du <i>design</i> | 41 |
| 2.6 Mise en œuvre de la dimension environnementale dans le processus de conception de produit..... | 42 |

| | | |
|---|--|-----|
| 2.6.1 | Mise en œuvre de l'écoconception dans les étapes préliminaires..... | 42 |
| 2.6.2 | L'écoconception : un outil multidisciplinaire..... | 42 |
| 2.7 | Proposition de classement d'outils existant dans le but de simplifier leur appropriation par les utilisateurs..... | 44 |
| CHAPITRE 3 REVUE DES MODÈLES UTILISÉS DANS LE CADRE D'UNE CONCEPTION ÉCO-INNOVANTE | | |
| 3.1 | Présentation de TRIZ..... | 49 |
| 3.1.1 | Les niveaux d'inventivité..... | 50 |
| 3.1.2 | Pour résoudre un problème il faut chercher la solution..... | 50 |
| 3.2 | Les principes de TRIZ..... | 52 |
| 3.3 | Notions importantes de TRIZ..... | 55 |
| 3.4 | TRIZ: une théorie et une démarche..... | 55 |
| 3.5 | Les problèmes génériques de TRIZ..... | 57 |
| 3.5.1 | Les contradictions..... | 57 |
| 3.5.2 | Modélisation S-Field..... | 58 |
| 3.5.3 | Fonctions et effets..... | 59 |
| 3.5.4 | Les lois d'évolution..... | 59 |
| 3.6 | Les Algorithmes de résolution des problèmes..... | 60 |
| 3.7 | TRIZ orientée éco-innovation..... | 63 |
| 3.7.1 | Travaux sur la matrice de contradiction de TRIZ..... | 65 |
| 3.7.2 | Loi d'évolution..... | 66 |
| 3.7.3 | Les 9 écrans..... | 67 |
| 3.7.4 | TRIZ et le CBR..... | 68 |
| 3.7.5 | Eco-MAL'IN..... | 69 |
| 3.8 | Méthode ASIT et adaptation vers un outil d'éco-innovation Ecoasit..... | 74 |
| CHAPITRE 4 MÉTHODOLOGIE..... | | |
| 4.1 | Méthodologie de recherche..... | 78 |
| 4.2 | Les étapes pour répondre à la problématique de recherche | 81 |
| 4.3 | Proposition d'une matrice d'évaluation qualitative..... | 83 |
| 4.4 | Analyse du produit: profil environnemental..... | 87 |
| 4.5 | Choix des règles importantes pour améliorer le produit..... | 91 |
| 4.6 | La démarche TRIZ..... | 92 |
| 4.6.1 | Schéma habituel de résolution de problèmes par TRIZ..... | 93 |
| 4.6.2 | Le choix de la méthode TRIZ | 95 |
| CHAPITRE 5 OUTIL ET GUIDE UTILISATEUR..... | | |
| 5.1 | Résultats de la démarche..... | 101 |
| 5.2 | Matrice résultante Ecatriz pour une résolution innovante de situations contradictoires..... | 104 |
| 5.3 | Guide méthodologique (Ecatriz) d'aide à la conception ou à l'amélioration d'un nouveau produit, d'un nouveau concept basé sur une démarche éco-innovante ... | 109 |

| | | |
|-------------|---|------|
| CHAPITRE 6 | ETUDE DE CAS..... | 115 |
| 6.1 | Test de validité sur des exemples de brevets publiés en éco-innovation..... | 116 |
| 6.1.1 | Application à une semelle pour chaussure | 116 |
| 6.1.2 | Céramique à base de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères | 117 |
| 6.2 | Application aux défis de la compétition des 24H de l'innovation..... | 119 |
| 6.2.1 | Le guide méthodologique proposé..... | 120 |
| 6.2.2 | Evaluation des solutions par rapport à la démarche préconisée | 125 |
| 6.2.3 | La liste des défis retenus | 126 |
| 6.3 | Les résultats | 128 |
| 6.3.1 | comment réinventer les escaliers (défi 17) | 128 |
| 6.3.2 | réduction de la Grosseur des mâts du chapiteau (défi 7) | 133 |
| 6.3.3 | comment favoriser le partage sécuritaire et équitable | |
| | d'intersections entre Automobilistes, piétons, cyclistes, etc. ?..... | 134 |
| 6.3.4 | comment réinventer la salle de bain du futur (défi 19)..... | 139 |
| 6.3.5 | Autres défis d'éco-innovation non primés mais étudiés | 1400 |
| CHAPITRE 7 | SYNTÈSE DES TRAVAUX DE RECHERCHE ET PERSPECTIVES ... | 143 |
| 7.1 | But de la Recherche | 144 |
| 7.2 | Travaux réalisés | 145 |
| 7.3 | Apport du travail de recherche..... | 146 |
| 7.3.1 | Apport dans le domaine scientifique..... | 146 |
| 7.3.2 | Apport pour l'industrie et la technologie | 147 |
| 7.3.3 | Apport pour la pédagogie..... | 148 |
| 7.4 | Limites de la démarche méthodologique | 149 |
| 7.5 | Perspectives de recherche | 149 |
| CONCLUSION | | 151 |
| ANNEXE I | MATRICE GUIDE D'ÉCOCONCEPTION..... | 153 |
| ANNEXE II | PARAMÈTRES DE CONCEPTION DE LA THÉORIE TRIZ | 161 |
| ANNEXE III | PARAMÈTRES DE CONCEPTION ET AXES D'ÉCO-EFFICIENCE . | 163 |
| ANNEXE IV | MATRICE DES CONTRADICTIONS | 165 |
| ANNEXE V | PRINCIPES INVENTIFS: LEVIERS À ACTIONNER | 167 |
| ANNEXE VI | PRÉSENTATION DES ACPSULES ET ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE D'ÉCOCONCEPTION | 171 |
| ANNEXE VII | GRILLE D'ÉVALUATION 24H DE L'INNOVATION..... | 173 |
| ANNEXE VIII | RÉSUMÉ DE QUELQUES CONCEPTS DE BREVETS PUBLIÉS POUR VÉRIFICATION | 177 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| ANNEXE IX | COMPÉTITION DES 24H DE L'INNOVATION : AUTRES DEFIS | |
| | POUR VÉRIFIER ECA-TRIZ..... | 189 |
| | LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 197 |
| | BIBLIOGRAPHIE..... | 199 |

LISTE DES TABLEAUX

| | Page |
|---|------|
| Tableau 1.1 Bénéfices externes potentiels à travers la mise en place d'un système de management environnemental | 14 |
| Tableau 1.2 Classification des approches environnementales | 16 |
| Tableau 1.3 Principes proposés par le WBCSD | 24 |
| Tableau 1.4 Exemple de transferts entre impacts environnementaux..... | 26 |
| Tableau 1.5 Mode d'attribution des notes aux outils d'évaluation en fonction de leur caractéristiques..... | 27 |
| Tableau 1.6 Mode d'attribution des notes aux outils d'évaluation en fonction de leur caractéristiques..... | 28 |
| Tableau 1.7 Outils d'évaluation à dominante quantitative | 30 |
| Tableau 1.8 Outils d'évaluation à dominante qualitative | 31 |
| Tableau 1.9 Types et familles d'écoconception..... | 32 |
| Tableau 1.10 Outils d'écoconception et critères d'évaluations | 33 |
| Tableau 2.1 Propositions de différents niveaux d'intégration par analogie à l'échelle | 45 |
| Tableau 3.1 Synthèse des outils d'éco-innovation..... | 62 |
| Tableau 3.2 Principales contributions en démarches d'éco-innovation..... | 63 |
| Tableau 3.3 Démarches d'éco-innovation à partir de TRIZ | 65 |
| Tableau 3.4 Ensemble de recommandations pour la consommation de matériaux en fonction du cycle de vie | 70 |
| Tableau 3.5 Ensemble de recommandations pour la consommation énergétique en fonction du cycle de vie | 71 |
| Tableau 3.6 Ensemble de recommandations pour les rejets en fonction du cycle de vie .. | 72 |
| Tableau 4.1 Exemple de pondération adoptée selon la réponse aux questions..... | 85 |
| Tableau 4.2 Présentation de la matrice globale et multicritère | 87 |
| Tableau 4.3 Exemple de matrice guide pour l'éco-concepteur..... | 91 |
| Tableau 4.4 Terminologie utilisée et niveau d'intervention du concepteur..... | 91 |
| Tableau 4.5 Matrice de résolution des contradictions techniques | 93 |
| Tableau 4.6 Les 39 paramètres d'ingénierie (PI)..... | 95 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tableau 4.7 | Les 40 principes inventifs (idéation International Inc., 1999) | 96 |
| Tableau 4.8 | Correspondance entre paramètres d'éco-efficience - paramètres ingénierie . | 99 |
| Tableau 5.1 | Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de la consommation de matériaux..... | 101 |
| Tableau 5.2 | Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de la consommation d'énergie | 102 |
| Tableau 5.3 | Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de rejets..... | 102 |
| Tableau 5.4 | Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de paramètres d'utilisation | 103 |
| Tableau 5.5 | Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de l'appropriation de l'écoconception | 103 |
| Tableau 5.6 | Nouvelle matrice résultante Eca Triz..... | 104 |
| Tableau 5.7 | Matrice résultante des paramètres inventifs pour l'amélioration des paramètres d'usage..... | 105 |
| Tableau 5.8 | Leviers de solutions à actionner pour une solution éco-innovante | 112 |
| Tableau 6.1 | Application à des cas de brevets publiés en rapport avec l'écoconception | 116 |
| Tableau 6.2 | Présentation succincte des défis retenus | 127 |

LISTE DES FIGURES

| | Page |
|-------------|---|
| Figure 1.1 | Représentation schématique du cycle de vie d'un produit. 10 |
| Figure 1.2 | Structure du <i>reporting</i> développement durable. 13 |
| Figure 1.3 | Etapes de la norme ISO 14001. 14 |
| Figure 1.4 | Modélisation de Bras. 17 |
| Figure 1.5 | Les quatre niveaux d'écoconception. 18 |
| Figure 1.6 | Classement des démarches environnementales proposées. 22 |
| Figure 1.7 | Modélisation de Wiggum. 23 |
| Figure 2.1 | Intégration des aspects environnementaux dans le processus de conception. 37 |
| Figure 2.2 | Acteurs internes et externes concernés par l'écoconception. 43 |
| Figure 2.3 | Classification des outils par degré d'intégration. . Erreur ! Signet non défini. |
| Figure 3.1 | Technique du type Essais-Erreurs. 51 |
| Figure 3.2 | Techniques genre Brainstorming. 52 |
| Figure 3.3 | TRIZ : une orientation dans la bonne direction. 53 |
| Figure 3.4 | Abstraction de connaissance pour surmonter les contradictions. 54 |
| Figure 3.5 | Analogie Mathématique. 54 |
| Figure 3.6 | Principe essentiel de TRIZ. 55 |
| Figure 3.7 | Démarche de TRIZ. 57 |
| Figure 3.8 | Principe d'utilisation de la matrice de contradiction. 58 |
| Figure 3.9 | Résumé de la démarche et de quelques outils TRIZ. 60 |
| Figure 3.10 | Algorithme ARIZ. 61 |
| Figure 3.11 | Matrice de corrélation entre principes du WBCSD et les paramètres. 66 |
| Figure 3.12 | Adaptation des 9 écrans pour l'éco-innovation. 68 |
| Figure 3.13 | Analyse produit, procédé et environnement. 73 |
| Figure 3.14 | Démarche de la méthode Éco'Malin. 74 |
| Figure 4.1 | Les problématiques de recherche recensées. 78 |
| Figure 4.2 | Démarche du processus éco-innovant. 79 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figure 4.3 | La démarche méthodologique détaillée..... | 80 |
| Figure 4.4 | Position des facteurs d'éco-efficience retenus pour l'étude par rapport aux principes WBCSD..... | 88 |
| Figure 4.5 | Démarche d'évaluation et paramètres à considérer..... | 90 |
| Figure 4.6 | Matrice TRIZ sans les contradictions..... | 94 |
| Figure 4.7 | La démarche Eca-Triz pour lever la contradiction..... | 97 |
| Figure 4.8 | Correspondance entre les paramètres de l'éco-innovation et d'ingénierie..... | 98 |
| Figure 5.1 | Féquence d'apparition des principes inventifs obtenus pour l'amélioration matérielle..... | 106 |
| Figure 5.2 | Féquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration énergétique..... | 107 |
| Figure 5.3 | Féquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration des rejets générés..... | 107 |
| Figure 5.4 | Féquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration des paramètres d'usage..... | 108 |
| Figure 5.5 | Féquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration de l'appropriation de l'écoconception..... | 108 |
| Figure 5.6 | Trousse à outils pour le concepteur..... | 110 |
| Figure 5.7 | Guide méthodologique d'écoconception pour le concepteur..... | 111 |
| Figure 5.8 | Les règles d'or pour une conception éco-innovante..... | 113 |
| Figure 5.9 | Les dimensions ciblées par cette recherche..... | 113 |
| Figure 6.1 | Schéma de la démarche Ecatriz comparée à la solution..... | 117 |
| Figure 6.2 | Schéma de la démarche Ecatriz comparée à la solution..... | 118 |
| Figure 6.3 | Construction d'une matrice d'évaluation des impacts et choix des paramètres de conception..... | 121 |
| Figure 6.4 | Exemple de Leviers à actionner pour améliorer la consommation des matériaux..... | 122 |
| Figure 6.5 | Leviers à actionner pour améliorer la consommation d'énergie..... | 122 |
| Figure 6.6 | Leviers à actionner pour diminuer les rejets..... | 123 |
| Figure 6.7 | Leviers à actionner pour améliorer les paramètres d'utilisation..... | 123 |
| Figure 6.8 | Leviers à actionner pour améliorer l'appropriation de l'écoconcepton..... | 124 |
| Figure 6.9 | Comment améliorer les paramètres d'usage..... | 124 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Figure 6.10 | Comment améliorer les paramètres d'usage sans détérioration des paramètres d'éco-efficience (Suite). | 125 |
| Figure 6.11 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 129 |
| Figure 6.12 | Photos vidéo relatives aux solutions préconisées. | 130 |
| Figure 6.13 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 130 |
| Figure 6.14 | Photos vidéo relatives aux solutions préconisées. | 131 |
| Figure 6.15 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 132 |
| Figure 6.16 | Photos vidéo des différentes solutions éco-innovantes présentées. | 132 |
| Figure 6.17 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 133 |
| Figure 6.18 | Photos vidéo de la solution éco-innovante en Arc en ciel. | 134 |
| Figure 6.19 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 134 |
| Figure 6.20 | Photos vidéo de la solution éco-innovante. | 135 |
| Figure 6.21 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 136 |
| Figure 6.22 | Photos vidéo de la solution éco-innovante. | 137 |
| Figure 6.23 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 137 |
| Figure 6.24 | Photos vidéo de la solution éco-innovante. | 138 |
| Figure 6.25 | Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions. | 139 |
| Figure 6.26 | Photos vidéo de la solution éco-innovante. | 140 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

| | |
|---------|--|
| ACV | Analyse du cycle de vie |
| ASIT | <i>Advanced Systematic Inventive Thinking</i> ou Méthode de résolution créative et de conception de produits et services |
| CBR | <i>Case Based Reasoning</i> |
| DEL | LED en Anglais : <i>Light-Emitting Diode</i> |
| DFM | <i>Design for manufacturing</i> |
| EcaTRIZ | Matrice Ecologique utilisant TRIZ |
| ESQCV | Evaluation simplifiée qualitative du cycle de vie |
| G.R.I | <i>Global reporting initiative</i> |
| QFD | <i>Quality Function Development</i> |
| PIT | <i>Product ideas tree</i> |
| PME | Petite et Moyenne Entreprise |
| SME | Système de management environnemental |
| TRIZ | <i>Teorija Reshenija Izobretateliskih Zadatch</i> ou résolution de problèmes inventifs |
| WBSCD | <i>World Business Council for Sustainable Development</i> |

INTRODUCTION

« Ce ne sont pas les plus forts qui survivent, ni les plus intelligents, mais ceux qui sont les plus rapides à s'adapter au changement. » Charles Darwin, naturaliste Anglais.

Contexte de recherche

On estime à environ 80% les impacts environnementaux négatifs générés pendant la période de conception des produits (Graedel 1998). Par conséquent les entreprises doivent accorder la priorité à l'élaboration des procédures méthodiques afin de réduire les coûts matériels et améliorer les processus.

L'écoconception est une pratique souvent utilisée pour intégrer la dimension environnementale dès la phase de conception des produits et services. Cette approche repose sur la prise en compte de toutes les étapes du cycle de vie d'un produit (Globale) et pour un ensemble de paramètres environnementaux (multicritère). Les outils d'écoconception généralement développés par les experts ne sont pas d'application courante au sein des entreprises. Cette problématique est plus générale au sein des PME, de telle sorte qu'un nombre limité de firmes réussissent à les mettre en œuvre d'une façon cohérente et efficace.

Les méthodes et outils de l'écoconception manquent de cohérence avec les activités de conception, d'un côté et le niveau de maîtrise exigé pour l'utilisateur dépend de l'outil utilisé et du niveau d'expertise requis : complexité de la démarche, analyse multicritère, outil de propositions de solutions, ou d'évaluation qualitative ou quantitative etc...

Il existe une multitude d'outils et une classification de ces méthodes, dites d'évaluation environnementale ou de proposition de solutions n'est pas suffisante pour voir dans quelle mesure l'entreprise ou le concepteur peut orienter son choix.

Les moyens limités dont disposent certaines entreprises ne permettent pas l'utilisation d'outils dits d'évaluation notamment, quantitatif et qui sont, généralement destinés à être manipulés par des experts et exigeant des données et beaucoup d'investissement lorsque l'entreprise n'est pas obligée de répondre à des obligations réglementaires ou d'exigence de l'utilisateur (Lepochat, 2005).

Les outils de préconisation sont plus faciles à être manipulés à travers des processus d'apprentissage et leur intégration ne pose pas de problèmes mais pour certains outils la validité scientifique reste un inconvénient.

L'une des particularités dominante de l'écoconception reste son appropriation par le concepteur et son intégration au sein de ses propres pratiques et outils qui conduisent à des bénéfices environnementaux: il n'existe pas d'outil universel dont la seule mise en œuvre permettrait « d'éco-concevoir » tout produit ou service. Seuls peuvent être déclinés des axes généraux d'écoconception et c'est à chaque entreprise de les adapter à ses propres spécificités et à chaque concepteur de les intégrer dans ses processus créatifs. Aussi les résultats d'une évaluation peuvent être traduits en axes de conception mais ces derniers peuvent être contradictoires. Alors il est souvent nécessaire de se démarquer de l'analyse environnementale pure pour prendre une dimension plus large dans le cadre de l'éco-innovation.

Notre problématique de recherche découle du constat au niveau des entreprises de non appropriation, en général, des outils d'écoconception disponibles. Des outils qui ont besoin de données difficiles à acquérir, du niveau d'un expert ou non fiables, dans la majeure partie du temps, pour aboutir à des résultats imprécis.

La multitude d'outils existants et qui ne sont pas appliqués au niveau des entreprises pour des raisons diverses a guidé notre réflexion sur la possibilité de développer une méthodologie plus adaptée tout en gardant une validité scientifique.

Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette thèse est de chercher une procédure d'écoconception innovante pour une meilleure appropriation par les utilisateurs tout en considérant l'approche cycle de vie combinée à des outils de gestion de connaissance et d'innovation.

À partir de ces grandes familles de méthodes, il est nécessaire de travailler sur la recherche d'outils, procéder à leur classement puis choisir ou combiner entre ces méthodes. La finalité étant de faciliter leur intégration au sein de l'entreprise en vue d'une meilleure appropriation.

Nous allons pouvoir cibler à travers cette recherche un choix d'outils approprié d'écoconception avec une prise en charge du cycle de vie.

La démarche que nous proposons passe par la réalisation d'une analyse environnementale simplifiée (quantitative) et qui pourra aider le concepteur à aboutir à des propositions d'améliorations fiables et pertinentes pour le produit puisqu'on doit se baser sur une analyse globale et multicritère.

L'accent sera mis sur des outils, dits d'amélioration pour permettre d'avancer dans la recherche de nouveaux outils d'écoconception qui permettront:

- La facilité d'appropriation par les entreprises;
- L'incitation des entreprises à identifier les pistes d'innovation en tenant compte, en plus de la dimension environnementale, de la perception du produit par le consommateur lors de son utilisation ou sa consommation;
- Le développement d'outils méthodologiques simples au niveau de la conception du produit, en tenant compte de tout son cycle de vie;
- Le développement de méthodes et outils qui supporteront la mise en place de nouvelles pratiques d'écoconception innovante en entreprise.

Présentation du document

Le document est présenté de sorte à montrer le cheminement de notre contribution à l'application d'une nouvelle démarche par l'utilisation ou adaptation d'outils dits De préconisation de solutions pour permettre la recherche de solutions d'écoconception à même de générer de l'innovation et qui permettront l'appropriation et l'intégration au sein des entreprises. L'approche méthodologique s'articulera, dans une première étape, sur la construction d'un guide méthodologique ou matrice qui prendra en charge les aspects négatifs générés par le produit (multicritère) tout au long de son cycle de vie (global) avec une prise en charge de la dimension sociale à travers les propriétés du produit par rapport à son utilisation et le niveau d'appropriation de l'écoconception au niveau du concepteur ou de l'entreprise. Cette démarche se démarquera de l'analyse environnementale pure pour prendre une dimension plus large dans le cadre de l'éco-innovation du produit. Cette première phase permet la hiérarchisation des impacts environnementaux générés et servira de point de repère pour le concepteur. L'étape suivante consiste à considérer l'évaluation obtenue et à appliquer un outil de gestion de connaissance qui orientera le concepteur à trouver des pistes d'amélioration, notamment si des contradictions dans les solutions envisagées subsistent.

Les impacts environnementaux de la conception du produit tout au long de son cycle de vie peuvent être évalués et hiérarchisés selon une nouvelle réorganisation des paramètres d'éco-efficience par rapport à ceux données par la WBSCD. Deux nouveaux paramètres sont introduits, à cet effet :

- Des paramètres d'usage qui sont liés à la qualité du produit à son utilisation (résistance, stabilité, facilité d'utilisation, adaptabilité etc.);
- L'adoption de l'écoconception, en relation avec les dispositions prises par l'entreprise pour prendre en charge tous les impacts environnementaux (formation et sensibilisation du personnel, respect des normes en vigueur, application systématique stricte des outils d'écoconception dans le lancement de nouveaux produits, aspects organisationnels mis en place etc.).

Dans une première étape, l'utilisation de la matrice qui est basée sur une réponse à des questions rédigées de manière suffisamment générale, globale et multicritère pour s'appliquer à une plus large gamme de produits, en tirer le maximum d'informations et évaluer l'influence d'un produit sur l'environnement au cours de sa conception.

Afin de vérifier, de compléter et de conforter les résultats trouvés, nous utiliserons la matrice de contradiction TRIZ ou méthode des principes inventifs. Les principes inventifs qui peuvent réduire la charge environnementale seront ainsi identifiés. Le travail de recherche présenté est structuré de la manière suivante.

Le premier chapitre comporte un état de l'art de l'écoconception dans le contexte environnemental et réglementaire ainsi que les différentes approches d'écoconception, les outils mis en œuvre et leur classification. La problématique d'intégration de ces outils au sein des entreprises, ainsi que les stratégies d'écoconception sont abordées au chapitre 2. Ce chapitre est aussi en partie, notre point de départ pour notre démarche méthodologique et qui consiste à trouver le meilleur moyen de classification de ces outils pour un meilleur choix et appropriation par l'utilisateur. Les principales raisons de non appropriation de l'écoconception ainsi que la proposition d'une classification simplifiée, résultat de notre évaluation à partir de critères prédéfinis, font également l'objet d'une discussion au cours de ce chapitre.

À partir de ces constats, nous avons réfléchi à mettre en œuvre une nouvelle démarche s'appuyant sur un outil d'écoconception simplifié couplé à un outil de gestion des connaissances dans le cas de contradictions rencontrées. Nous présentons, au chapitre 3, un état de l'art à travers des modèles utilisés. Notre démarche méthodologique, comme nouveau support à l'écoconception est abordée, au chapitre 4. Nous discuterons au cours du chapitre 5 l'outil ainsi que le guide proposé, à la lumière de cette démarche.

Afin de vérifier nos résultats, une application a été faite sur des cas de brevets publiés et en rapport avec l'écoconception. Les défis présentés lors de la compétition des 24H de

l'innovation ont été aussi un autre champ d'expérimentation et de vérification de nos résultats à travers les idées solutions apportées à certains projets par les équipes qui ont choisi de travailler sur ces défis. Nous présenterons ces cas au cours du chapitre 6.

Nous ferons une synthèse des travaux et les perspectives de recherche, dans ce domaine au cours du chapitre 7. Nous terminerons, enfin par une conclusion.

CHAPITRE 1

A CONCEPTION PASSE PAR L'ÉCOCONCEPTION DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

Ce premier chapitre de la thèse est consacré à une synthèse bibliographique des principes fondamentaux de l'écoconception incluant les principes qui régissent cette démarche. Nous passerons en revue le contexte réglementaire, l'état de l'art par rapport aux différentes approches ainsi que les outils déployés, ainsi que les différentes classifications.

1.1 L'écoconception

La problématique industrielle ne peut être dissociée d'une problématique globale, au niveau planétaire. La prise en compte des inquiétudes environnementales s'avère une mission urgente. Les changements sont déjà ressentis au niveau climatique, aux nombreuses catastrophes qui surviennent, leur fréquence et l'espace qu'elles gagnent. Il s'agit d'un défi stratégique par rapport aux consommations de ressources fossiles et minérales et des rejets générés. Ceci ne peut que révéler l'urgence environnementale causée par la société de consommation, au niveau de laquelle sont centralisés les produits (Lepochat, 2005).

L'écoconception est un outil qui permet à la fois, de résoudre les problèmes environnementaux mis en évidence et solidement constatés, et d'entretenir le dynamisme industriel en apportant des opportunités d'innovation (Milled, 2012).

L'écoconception est ainsi définie en termes d'objectifs et en termes de moyens. Vu sous cet angle, le terme « écoconception », que nous emploierons comme terme générique dans toute la suite du document.

Si notre mode de développement doit s'appuyer sur la durabilité, l'écoconception se présente comme un outil incontournable. En effet, les objectifs du développement durable étant posés (Rapport Brundtland, 1997), les deux principes qui soutiennent l'écoconception sont :

- D'une part, considérer la conception même du produit est la réponse la plus cohérente, puisque c'est à ce niveau qu'existe la plus grande liberté d'action. De ce point de vue, le principe de l'approche cycle de vie du produit constitue la réponse la mieux adaptée qui soit;
- D'autre part, l'approche multicritère doit permettre d'assurer que la conception des produits limite globalement l'ensemble des impacts environnementaux dans une optique de durabilité.

L'écoconception est un outil pour atteindre une meilleure éco-efficacité, en concevant des produits et services requérant le minimum de ressources et d'énergie. C'est un outil pour solutionner le problème des atteintes à l'environnement.

Ainsi, cette partie montrera que l'écoconception est un outil permettant à la fois, de solutionner les problèmes environnementaux mis en évidence, et d'entretenir le dynamisme industriel en apportant des opportunités d'innovation.

L'écoconception s'inscrit ainsi pleinement dans le champ du développement durable. En se situant à l'interface de deux des trois piliers du développement durable, l'économie et l'environnement, l'écoconception en constitue un outil concret et efficace.

1.1.1 L'écoconception dans le contexte réglementaire

1.1.1.1 Définition

D'après la norme internationale ISO 14062 (2002), l'écoconception peut être définie comme l'intégration des contraintes environnementales dans la conception et le développement de produits (AFNOR, 2004).

La norme ISO 14062 précise qu'il faut entendre par « produit » aussi bien des produits que des services, et elle en propose une classification exhaustive selon différentes catégories (Produits, services dont : transport, logiciels ...) (Miled, 2010).

D'après Johansson (2001), le terme écoconception (*ecodesign*) peut être vu, selon les définitions, comme un *process*, comme une stratégie, comme une activité ou comme un produit particulier. Il faut néanmoins remarquer que toutes les définitions expriment, implicitement ou explicitement, « l'objectif de minimiser l'impact environnemental global du produit tout au long de son cycle de vie, en adoptant des mesures préventives durant la phase de conception du produit ».

1.1.1.2 Les principes de l'écoconception

L'écoconception repose sur deux principes fondamentaux: l'approche globale, ou approche cycle de vie, et l'approche multicritère. Son objectif est de diminuer, sur l'ensemble du cycle de vie du produit, l'impact environnemental global de ce produit (Btyl, 2011).

a) Approche globale - Le cycle de vie d'un produit

L'approche cycle de vie d'un produit consiste à considérer l'ensemble des étapes nécessaires pour réaliser les phases concernant l'élaboration, l'usage, et l'élimination du produit, c'est-à-dire depuis l'extraction et la fabrication des matières premières entrant dans la composition du produit, jusqu'à la fin de vie du produit et aux différents traitements nécessaires à son élimination. Le cycle de vie du produit, couramment désigné par l'expression consacrée « du berceau à la tombe », est segmenté en cinq phases distinctes, représentées sur la Figure 1.1 :

- La phase d'extraction des matières premières comprend les étapes depuis l'extraction, le raffinage des différents minerais jusqu'à la fabrication des matériaux et des produits semi- finis.
- La phase de fabrication qui comprend tous les procédés de fabrication des pièces et composants du produit, aussi bien chez les différents fournisseurs que chez le fabricant.
- La phase d'utilisation du produit qui comprend, les cas échéants, la consommation d'énergie pour utiliser le produit, l'entretien, la réparation, l'utilisation de produits consommables nécessaires au bon fonctionnement du produit.
- La fin de vie du produit. Cette phase comprend les moyens d'élimination du produit usagé: recyclage, incinération, mise en décharge, etc.
- La phase de transport qui comprend l'ensemble des moyens de transports qui ont été nécessaires pour réaliser le cycle de vie complet du produit du berceau à la tombe : transport des matières premières, approvisionnement par les fournisseurs, expéditions vers les clients, collecte des produits en fin de vie.

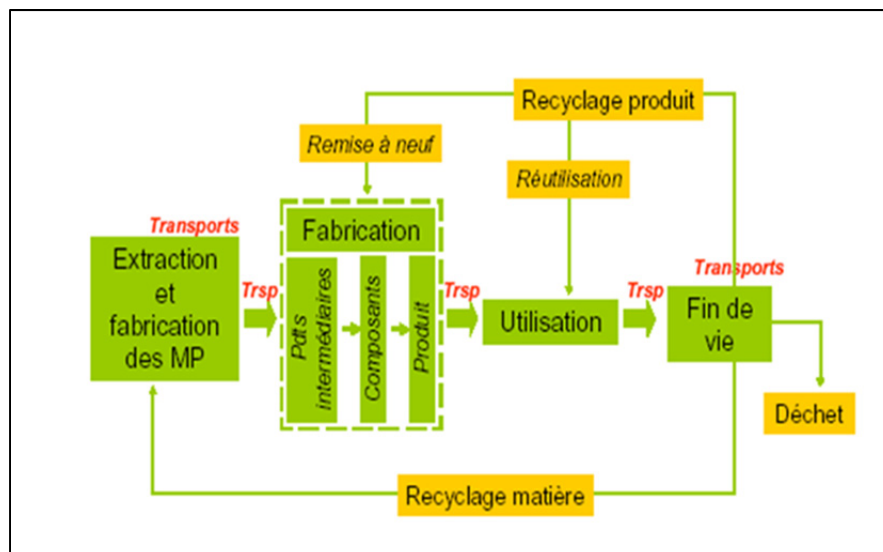


Figure 1.1 Représentation schématique du cycle de vie d'un produit.

Tirée de (Lepochat, 2005)

b) Approche multicritère

L'approche multicritère consiste à considérer, pour l'ensemble du cycle de vie du produit, l'ensemble des catégories d'impacts environnementaux pertinentes pour le produit étudié.

Les catégories d'impacts environnementaux peuvent être exprimées sous de nombreuses formes (ce qui pose par ailleurs des problèmes pour la compréhension de la problématique environnementale et sa prise en compte dans un processus de conception).

Cependant, en tout état de cause, l'approche multicritère impose de considérer simultanément les problèmes environnementaux liés (Fugère, 2009) :

- À la consommation d'énergie;
- À la consommation de ressources;
- Aux diverses pollutions émises sous différentes formes;
- À la production de déchets, autant de processus engendrés par le cycle de vie du produit;
- Éviter les transferts entre impacts.

1.2 Le développement durable

Le développement durable, dont le concept avait déjà été énoncé de manière pragmatique par Saint Exupéry « on n'hérite pas de la terre de nos parents, on l'emprunte à nos enfants », a été institutionnalisé par le rapport Brundtland (WCED, 1987), et définitivement adopté en tant que principe politique par la communauté internationale lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992. Le développement durable se donne comme objectif de « répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité, pour les générations à venir, de pouvoir répondre à leur propres besoins » (WCED, 1987). Il s'agit donc d'assurer un niveau de développement propre à satisfaire les besoins de l'ensemble des habitants de la planète tout en assurant, avec comme perspective lointaine, une gestion durable des ressources, tout préservant un équilibre des systèmes écologiques dans lesquels les humains puissent évoluer

convenablement. La notion de développement durable pose donc les principes d'équité (égalité devant la qualité de vie et devant l'accès aux ressources vitales).

1.2.1 Le développement durable au sein de l'entreprise

La norme ISO 26000 est mise en place pour donner une signification au terme de responsabilité sociétale qui attribue à l'organisation, la responsabilité morale et transparente par rapport aux conséquences de ces décisions et de ces activités par rapport à l'environnement (Tyl, 2011).

Ceci d'une part, d'autre part selon Boiral (2010), l'intégration du développement durable en entreprise s'explique par trois motivations majeures: obtenir une légitimité sociale de l'entreprise auprès notamment du grand public, prendre en compte le dialogue avec l'ensemble des parties prenantes de l'entreprise, et enfin faciliter une gestion interne des enjeux du développement durable. L'Intégration du Développement Durable en entreprise peut se décliner en deux niveaux (Labuschagne et al., 2005) :

Niveau 1 : se situe au niveau de la communication à travers différents rapports émis par les entreprises et ceci dans le but de mesurer leur performance par rapport au développement durable. Actuellement ces rapports sont normalisés autour du *Global Reporting Initiative* (GRI 2002) ou *reporting* développement durable, dont les différentes étapes sont données sur la Figure 1.2.

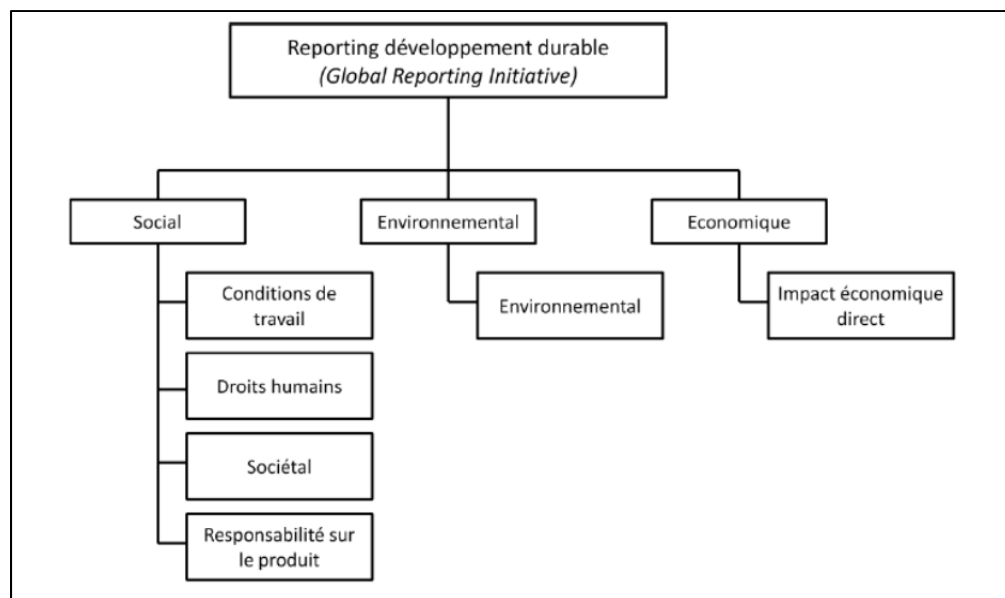


Figure 1.2 Structure du *reporting* développement durable.
Tirée de (Labuschagne et al.,2005)

Le *reporting* développement durable, à travers le cadre proposé par le GRI, constitue un instrument pour permettre aux entreprises de communiquer avec leurs parties prenantes sur les performances et la responsabilité de leur entreprise, au-delà de l'aspect financier (Wallish, 2003).

Niveau 2 : Il s'agit de l'intégration des critères environnementaux à travers la mise en place d'un système de management environnemental (SME) au sein de l'organisation. La Figure 1.3 montre la démarche proposée par la norme ISO 14001 qui permet à l'institution d'avoir une vision globale de sa politique environnementale.

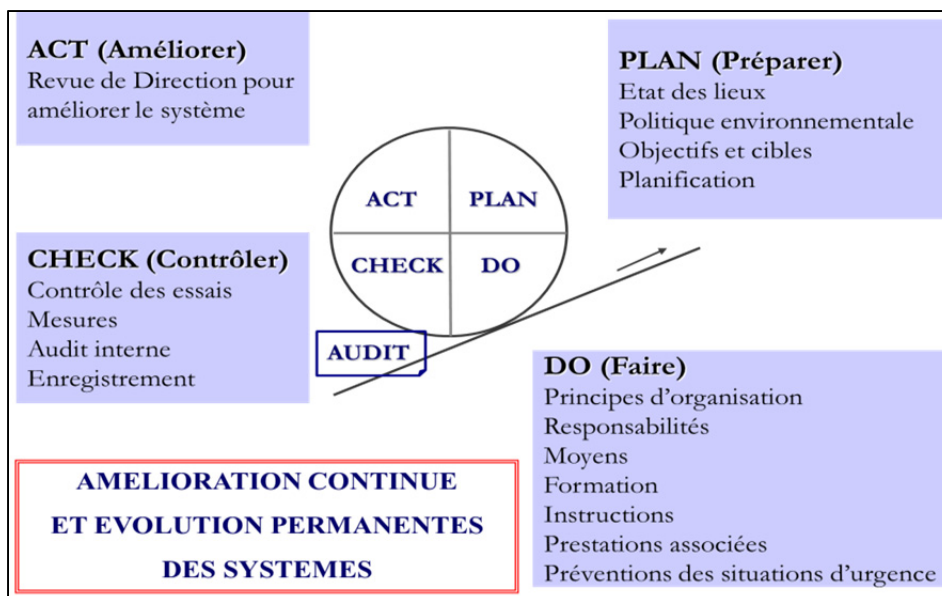


Figure 1.3 Etapes de la norme ISO 14001.

Hillary (2004) a illustré les bénéfices de la mise en place d'un tel système. Le Tableau 1.1 montre les bénéfices commerciaux, environnementaux et en communication.

Tableau 1.1 Bénéfices externes potentiels à travers la mise en place d'un système de management environnemental.

Tirée de (Hillary, 2004)

| Bénéfices Environnementaux | Bénéfices en communication | Bénéfices commerciaux |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Amélioration des performances environnementales de l'entreprise. - Respect de la réglementation. - Amélioration de l'efficacité de l'entreprise (énergétique, ressources). | <ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'une image positive de l'entreprise. - Amélioration des relations avec les clients. - Amélioration des coopérations avec les partenaires publics. - Amélioration de la Communication. | <ul style="list-style-type: none"> - Gain de nouvelles parts de marché. - Satisfaction des clients. - Avantage concurrentiel. - Développement produits éco-conçus |

1.2.2 La conception et le développement durable

La conception peut être décrite selon plusieurs approches. Pour la comprendre, il faut multiplier et intégrer ces différentes grilles de lecture afin d'en avoir une représentation complète (Perrin, 2001). Choulier (2008) définit ainsi trois grandes approches de la conception, lesquelles doivent plutôt être vues comme des « cas limites » :

- La première grande approche est une approche « résolution de problème », qui qualifie la conception avant tout comme une activité ayant pour but de résoudre successivement l'ensemble des problèmes posés;
- Une deuxième approche est l'approche prescriptive de la conception, c'est-à-dire une approche qui définit la conception comme une succession d'étapes bien définies;
- Enfin, une troisième et dernière approche concerne l'approche réflexive, ou encore « réflexion – action », qui considère que la réflexion du concepteur s'effectue en même temps que l'action de concevoir.

Aujourd'hui à la mode comme le développement durable, l'écoconception est une démarche émergente cherchant à revenir aux sources de la création de produit. Une place privilégiée est consacrée à la promotion d'une conception responsable et durable.

1.3 Les différentes approches d'écoconception

Dans un but de clarifier ces différentes démarches, certains chercheurs se sont attelés à les modéliser en les classant suivant différents paramètres. Certains ont pris comme référence le périmètre d'étude de ces approches, d'autres ont considéré le niveau d'efficacité pouvant être atteint. Enfin, les deux dernières modélisations prennent comme référence le niveau d'intégration dans l'entreprise, ou encore le niveau d'innovation. Le Tableau 1.2 et les paragraphes suivants résument les principales contributions dans ces classements.

Tableau 1.2 Classification des approches environnementales
Tirée de (Btyl, 2011)

| Auteur | Paramètre de classification |
|--|---|
| Bras (Bras, 1997) | Frontière spatiale (Niveau d'organisation pris en compte : cycle de vie du produit, gamme de produit, entreprise, société...) Frontière temporelle (Durée de vie du produit, durée de vie humaine, civilisation) |
| Brezet / Charter (Brezet, 1997, Charter et Chick, 1997) | Niveau d'éco-efficacité (Brezet, 1997) ou Bénéfices environnementaux (Charter et Chick, 1997) en fonction du temps |
| Millet (Millet, 2003) | Intégration du critère environnemental dans l'entreprise : éco-conception partielle, classique ou innovante |
| Wiggum (Wiggum, 2004) | Niveau d'innovation en fonction du potentiel de réduction de matières ou d'énergies |

1.3.1 Approche de Bras

La modélisation proposée par Bras (1997) est l'une des premières à avoir été mise en place (Figure 1.4).

Elle propose de classer l'ensemble des outils et approches suivant deux paramètres :

- L'échelle de temps : agit-on sur du court terme, à l'échelle de la durée de vie du produit, ou au contraire sur du long terme, à l'échelle de la durée de vie humaine ?
- Le niveau d'organisation impactée : prenons-nous en compte un produit, une gamme de produit, ou considère-t-on un ensemble d'entreprises ?

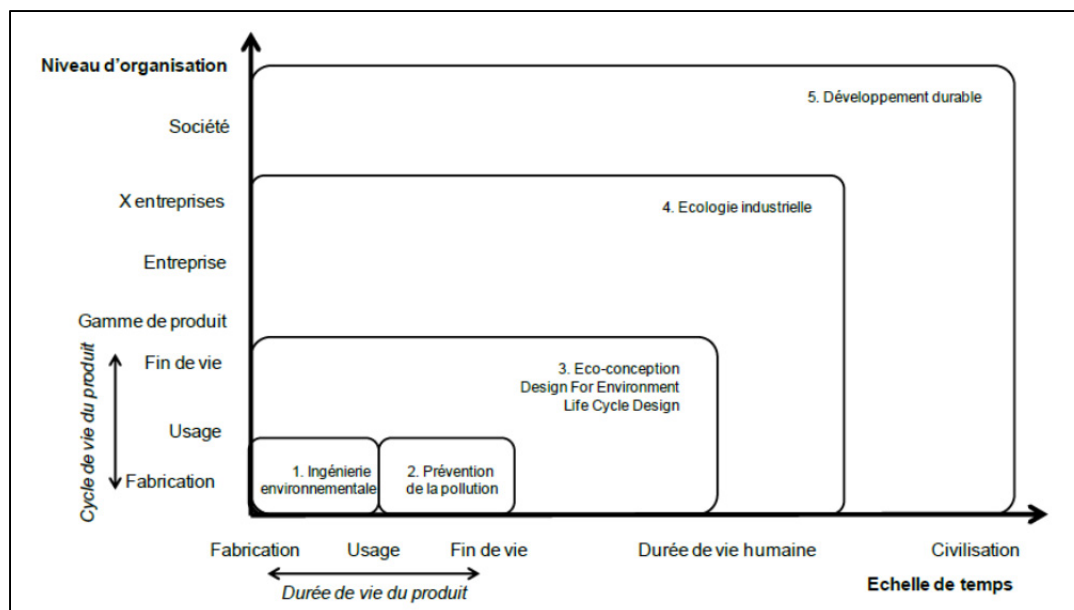


Figure 1.4 Modélisation de Bras.
Tirée de (Bras, 1997)

1.3.2 Approche de Brezet

Brezet (1997), quant à lui, propose le modèle représenté par la Figure 1.5. Il définit quatre niveaux d'écoconception, correspondant à des degrés d'innovation porteurs de facteurs de réduction potentiels des impacts environnementaux :

Niveau 1 : Améliorations incrémentales du produit.

Niveau 2 : Re-conception du produit. Les modifications peuvent toucher la structure du produit, ou les technologies employées.

Niveau 3: Innovations sur les fonctionnalités du produit.

Niveau 4: Innovations sur le(s) système(s) dans le(s)quel(s) s'insère le produit.

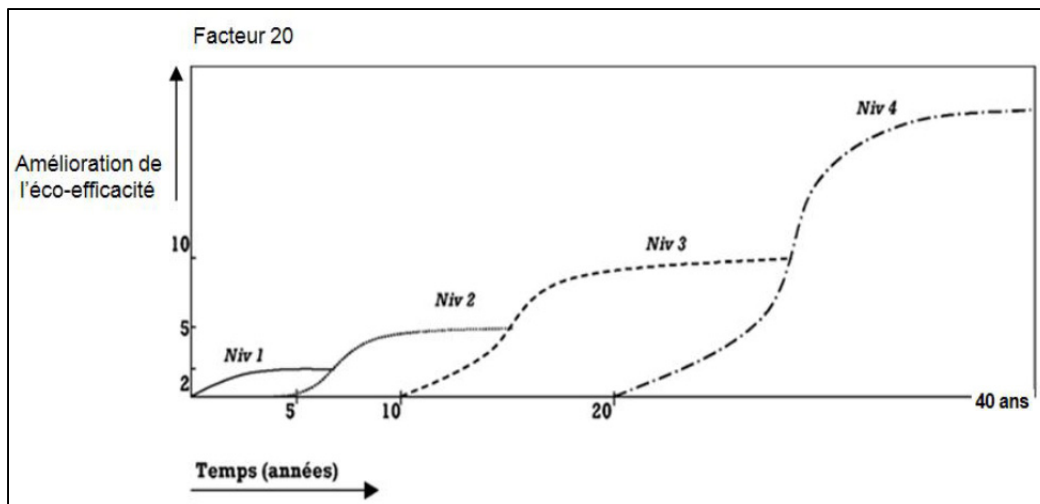


Figure 1.5 Les quatre niveaux d'écoconception.
Tiré de (Brezet 1997)

Les niveaux 1 à 4 correspondent à des niveaux de réduction des impacts environnementaux allant de 50 à 95 %. Pour les niveaux 1 et 2, cela correspond aux améliorations et transformations à apporter pour améliorer l'éco-efficacité des produits. Pour les niveaux 3 et 4, il s'agit plutôt de modifications plus importantes ou de produits innovants. L'entreprise peut choisir de se mettre directement à un niveau supérieur sans passer par les niveaux 1 et 2. Toutefois, l'expérience industrielle montre que l'évolution de la prise en compte de l'environnement dans la conception se fait de manière progressive et lente. Une innovation trop rapide peut constituer une contrainte commerciale et technique supplémentaire pour l'industriel. En effet, les clients et les fournisseurs peuvent ne pas être prêts et disponibles à ce type de changement radical (Daoud, 2009).

Notons que l'échelle de temps indiquée sur la figure n'est pas figée. Elle représente une estimation du temps que mettrait l'industrie d'une manière générale avant de se hausser au niveau 4 d'éco-efficacité. Il est bien évident que des entreprises plus proactives peuvent y arriver plus rapidement.

Niveau 1 : Amélioration du produit

Il s'agit d'une amélioration apportée à un produit existant sans changer le produit en soi. Il s'agit d'une « mise à jour » environnementale du produit. Cette approche est souvent guidée par le respect de la réglementation et les modifications de conception sont associées à une réduction des coûts. Les actions menées relèvent du bon sens du concepteur et peuvent être facilement appliquées par tout type d'entreprises : réduction du temps d'assemblage et de désassemblage, réduction de la masse du produit ou de son emballage, réduction de la consommation d'énergie. Les améliorations apportées sont simples à mesurer :

- Le nombre de pièces supprimées;
- Le nombre de matériaux utilisés par rapport au produit d'origine;
- La réduction de la consommation d'énergie;
- La réduction du poids du produit;
- Les substances toxiques éliminées;
- Le temps de désassemblage;
- Le coût des améliorations environnementales.

Niveau 2 : Reconception du produit

Il s'agit d'une reconception d'un produit existant. Ce type de projet nécessite une analyse environnementale approfondie du produit existant afin de déterminer les sources de pollution et d'étudier les interactions entre ces sources et les possibles transferts de pollution. Brezet (1995) préconise de dissocier les contraintes de coût/qualité des contraintes environnementales pour élargir le champ de créativité.

Dans ce type d'approche, le produit conserve sa fonctionnalité, seule la conception change. La géométrie du produit, son architecture et ses composants peuvent être changés. Cela peut engendrer des modifications des matériaux et techniques de fabrication. Ces changements peuvent affecter plusieurs phases du cycle de vie. Il est alors important d'évaluer les impacts

environnementaux des produits reconçus afin de mesurer les réelles améliorations sur le produit.

Le niveau 2 est le niveau le plus recherché par les entreprises initiatrices de démarches d'écoconception (Fugère, 2009) . Toutefois, ce niveau requiert un temps de développement plus long que le niveau 1 et des compétences environnementales plus approfondies. Ce type de projet nécessite des outils spécifiques d'écoconception et d'évaluation environnementale. Les changements apportés peuvent impliquer les fournisseurs mais peu ou pas les clients. Le coût de la mise en place d'un tel projet peut s'avérer important.

Niveau 3 : Nouveau concept de produit

Alors que les deux premiers niveaux sont orientés vers la révision des produits existants, le niveau 3 introduit un nouveau concept de produit. Le produit remplit les mêmes fonctions mais les systèmes utilisés sont catégoriquement différents. Le fabricant travaille sur une rupture technologique qui lui permet d'exploiter un nouveau marché sur une période relativement longue. C'est le cas des appareils photos numériques qui viennent remplacer les appareils argentiques ou du téléphone cellulaire qui a remplacé le téléphone filaire. Les risques liés à ce type de projet peuvent se révéler très importants :

- Le changement technologique peut nécessiter des investissements importants;
- Certains matériaux ou composants ne sont pas disponibles en quantité suffisante;
- Certains fournisseurs ne sont pas capables d'accompagner un tel niveau d'innovation;
- Les clients peuvent être réticents envers certains produits, soit par ce qu'ils ne sont pas préparés à les utiliser, soit parce que les avantages environnementaux ne justifient pas la perte en performance ou l'augmentation du prix.

L'entreprise doit donc intégrer toutes ces contraintes dans son projet d'écoconception. Ce type de projet ne peut réussir que si la stratégie de développement adoptée est de long terme avec une vision large sur l'ensemble du cycle de vie. Par ailleurs, l'entreprise doit accompagner tous ses partenaires et clients dans le processus d'adaptation au nouveau

produit. Les projets d'innovation réussis peuvent apporter des bénéfices économiques importants à l'entreprise à travers la vente du nouveau produit ou de la technologie.

Pour cela, il s'avère indispensable de protéger ces innovations par un dépôt de brevet et une communication organisée.

Niveau 4 : Nouveau système productif

Ce niveau d'innovation ne touche pas uniquement le produit mais tout le système productif. Ce type de projet nécessite des changements profonds des infrastructures et des organisations. C'est le cas du développement du transport mécanique par rapport au transport basé sur les animaux qui a engendré une modification générale de notre mode de vie ou encore le développement de l'énergie électrique et le téléphone.

1.3.3 Approche de Millet

Les 2 premières approches proposées ne prennent pas en compte l'entreprise en tant qu'acteur dans la mise en place de l'écoconception. L'approche proposée par Millet (2003) a donc cherché à caractériser la démarche suivant le niveau d'intégration dans l'entreprise.

La Figure 1.6 permet ainsi d'identifier 3 grands types de démarches :

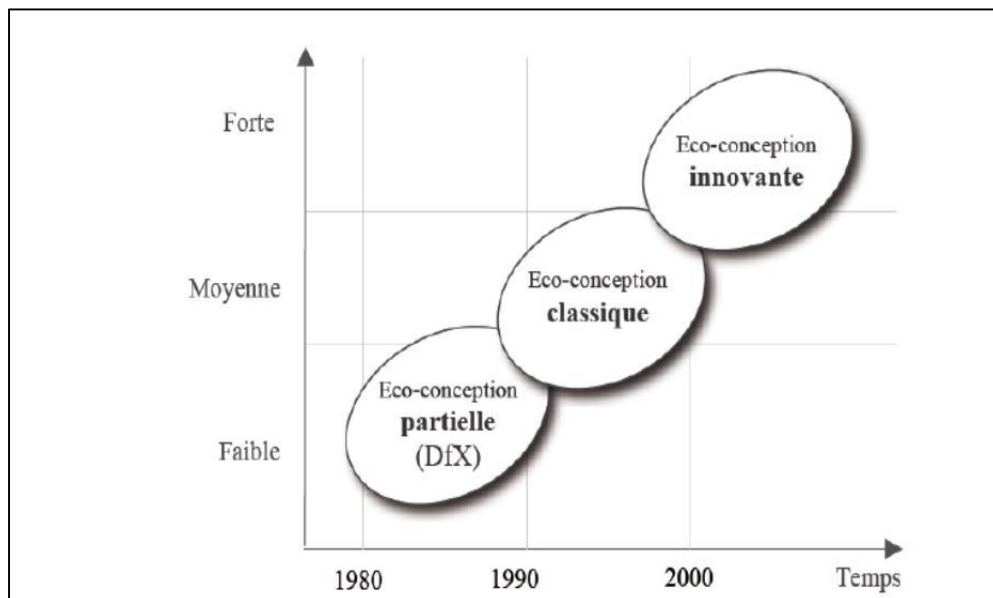


Figure 1.6 Classement des démarches environnementales proposées.
Tirée de Millet (2003)

- Les démarches d'écoconception partielles : dans cette démarche, l'environnement est essentiellement perçu comme une nouvelle contrainte à intégrer dans le processus d'écoconception. On ne s'intéresse qu'à une étape du cycle de vie, comme par exemple le DCR (*Design For Recycling*). Cette démarche aboutit à une faible modification du produit et des procédés qui lui sont associés.
- Les démarches écoconception classiques : cette démarche permet une prise en compte multicritère de l'environnement et l'ensemble du cycle de vie du produit est considéré, depuis la matière première jusqu'à la fin de vie.
- Les démarches d'écoconception innovantes : cette démarche est la moins utilisée dans le monde industriel.

1.3.4 Approche de Wiggum

L'approche de Wiggum (2004) est légèrement différente des trois approches précédentes. Il propose en effet de modifier la modélisation de Brezet pour considérer avant tout les potentiels d'innovation (Figure 1.7), en modélisant l'intégration de l'environnement à travers deux axes : le potentiel d'innovation d'une part, et d'autre part, la réduction de consommation de ressources (énergie et matière). Cette modélisation propose ainsi 4 étapes :

- La reconception du produit;
- Les modifications du cycle de vie du produit, ce qui passe par la pratique de l'Analyse de cycle de vie du produit;
- La modification du concept même, à travers notamment la dématérialisation, ou une redéfinition du besoin en vue d'y répondre le plus efficacement;
- Une modification des infrastructures, de l'organisation des sociétés ou encore des institutions.

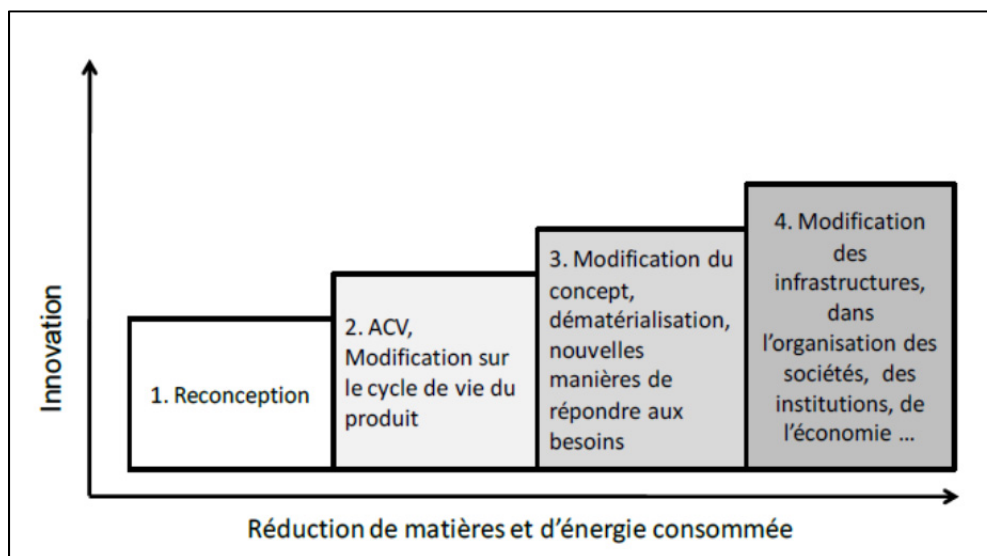


Figure 1.7 Modélisation de Wiggum.
Tirée de Wiggum (2004)

1.4 La recherche d'écocoefficience

Ce concept a été défini précisément par le Conseil mondial des entreprises pour le développement durable, le WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) en 1995. L'éco-efficience a été modélisée par Park et Tahara (2007) avec une équation simple basée sur le ratio entre la valeur de l'offre (qualité, fonctionnalité...) et l'impact environnemental du produit ou du service tout au long de son cycle de vie.

$$\text{Eco - efficience} = \frac{\text{Valeur du produit ou service}}{\text{Somme des impacts environnementaux}}$$

Cette équation met en évidence les 2 potentiels d'amélioration :

- Optimiser l'utilisation des ressources naturelles et réduire les impacts environnementaux, en minimisant, par exemple, les déchets et les substances toxiques.
- Accroître la valeur des produits ou services.

En parallèle, le WBCSD propose un ensemble de principes d'éco-efficience (Tableau 1.3), qui seront par la suite utilisés dans certains outils d'éco-innovation.

Tableau 1.3 Principes proposés par le WBCSD
Tirée de Tyl (2011)

| Classification proposée par le WBCSD |
|--|
| Réduction pour la demande de matériaux pour les produits et services |
| Réduction de l'intensité énergétique |
| Réduction de la dispersion des substances toxiques |
| Amélioration de la recyclabilité des matériaux |
| Optimisation de l'utilisation durable des ressources renouvelables |
| Prolongation de la durabilité des produits |
| Accroissement de l'intensité de service des produits et services |
| |

1.5 Approche multicritère des impacts environnementaux

Un produit industriel est une source d'impacts sur l'environnement. Cela se traduit par la consommation des ressources (matière premières, ressources énergétiques, etc.) et par les rejets de substances dans l'eau, l'air et le sol (eaux usées, gaz d'échappement, etc...) (ADEME, 1999). L'AFNOR définit l'ensemble des consommations et rejets comme des aspects environnementaux (entrants et sortants) (AFNOR, 2003) :

- Entrants : matériaux et/ou consommation d'énergie.
- Sortants : les émissions, les déchets, les effluents, les bruits et les radiations.

L'impact environnemental désigne l'ensemble des modifications qualitatives, quantitatives et fonctionnelles de l'environnement (négatives ou positives) engendrées par un projet, un processus, un procédé, un ou des organismes et un ou des produits, de sa conception à sa "*fin de vie*". Un impact sur l'environnement peut se définir comme l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante de l'environnement pris dans le sens large du terme (c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains), en comparaison de la situation probable advenant la non-réalisation du projet (Wathern, 1988). Cependant, la recherche de solutions optimales pour un ensemble de critères revient à résoudre un problème d'optimisation multi-objectifs (Azapagic et al. 1999) et (Bertoluci et al, 2009). En effet, dans la plupart des cas, une amélioration d'un seul critère environnemental pour un système multicritère peut dégrader ou aggraver un ou plusieurs autres critères environnementaux de l'ensemble du système. On parle alors de phénomène de transfert entre impacts environnementaux (Luttropp et al. 2001). Lepochat (2005) revient sur le phénomène de transfert entre impacts environnementaux et présente un exemple sur les transferts entre impacts environnementaux (Tableau 1.4).

Tableau 1.4 Exemple de transferts entre impacts environnementaux
Tirée de Lepochat (2005)

| Produits | Solutions comparées | | Aspects environnementaux améliorés | Aspects environnementaux dégradés | Commentaires |
|---|-----------------------|-------------------|---|--|---|
| | Solution de référence | Nouvelle solution | | | |
| Carburants (pour automobiles et bus) [Ecobilan 02] | Carburants pétroliers | Biocarburants | Pollution de l'air, effet de serre, consommation de ressources fossiles, efficacité énergétique | Consommation d'eau, consommation d'engrais et pesticides, surfaces agricoles | Les transferts entre impacts environnementaux ont lieu entre : <ul style="list-style-type: none"> • d'une part, le système pétrochimique et la combustion de combustibles fossiles, • d'autre part, le système agricole. |
| Pièces pour l'automobile (aile avant de véhicule) | Tôle acier | Pièce plastique | Consommation de carburant (ressource fossile – pétrole –, pollution de l'air, effet de serre) | Recyclabilité du véhicule (déchets, ressources) | L'allègement du véhicule (dû à l'utilisation de plastique à la place de l'acier) entraîne des réductions de consommation d'essence (donc une réduction des pollutions liées à la combustion de carburant et une économie de ressource fossile). En revanche, les ailes en plastique n'étant pour l'instant pas recyclables, le taux de recyclabilité du véhicule est diminué. |

1.6 Les outils d'écoconception

Nous présenterons les différents outils d'écoconception développés dans la littérature. L'objectif étant d'arriver à trouver la meilleure classification qui permettra à tous les utilisateurs, sans prétexte d'expertise, de temps ou de coûts, une appropriation tout en assurant une validité scientifique des résultats qui en découlent.

En général, les outils d'écoconception se déclinent en catégories. S'il s'agit d'établir un profil environnemental pour améliorer les performances d'un produit du point de vue écologique, nous parlerons d'outils d'évaluation. Ces outils exigent beaucoup d'informations et de données et doivent tenir compte de toutes les forces et faiblesses pendant tout le cycle de vie du produit, c'est-à-dire depuis l'extraction des matières premières, le transport, la fabrication, l'utilisation et sa fin de vie. Les outils de cette catégorie peuvent servir à mener une étude tant quantitative ou qualitative.

Une autre catégorie d'outils est celle qui utilise les résultats de l'évaluation pour aider le concepteur à trouver les axes d'amélioration et la recherche de la solution. Ce sont des outils dits de préconisation.

Il existe d'autres types d'outils liés à la sensibilisation et la communication interne et externe de la communauté concernée au sein de l'entreprise : ce sont des outils du type organisationnel.

1.6.1 Caractérisation des outils d'écoconception

Janin (2000) caractérise les outils d'écoconception selon le niveau d'évaluation et de préconisation et qui sont les principales approches selon l'auteur. Les tableaux 1.5 et 1.6 reprennent ces approches par établissement d'une grille de notation allant de 1 à 5.

Tableau 1.5 Mode d'attribution des notes aux outils d'évaluation
en fonction de leur caractéristiques
Tirée de (Janin, 2000)

| Niveau | Qualitative | Quantitative | Approche de l'outil | |
|--------|-------------|--------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| | | | Nombre de phases du cycle de vie | Nombre de critères environnementaux |
| 1 | X | | 1 ou plus | Monocritère |
| 2 | X | | 1 ou plus | Multicritère |
| 3 | X | | Cycle de vie complet | Multicritère |
| 4 | | X | 1 ou plus ou cycle de vie complet | Mono ou Multicritère |
| 5 | | X | Cycle de vie complet | Multicritère |

Tableau 1.6 Mode d'attribution des notes aux outils d'évaluation en fonction de leur caractéristiques
Tirée de (Janin, 2000)

| Niveau | Types de préconisation |
|--------|---|
| 1 | Peu de recommandations particulières. Préconisations limitées car seuls les résultats d'évaluation indiquent les aspects environnementaux significatifs (points faibles) du produit sans proposer pour autant de solutions d'amélioration. |
| 2 | Quelques préconisations plus compréhensibles par l'équipe projet puisque le mode d'évaluation se base sur une approche accessible au plus grand nombre et permet déjà d'entrevoir des axes d'amélioration. |
| 3 | Préconisations basées sur des résultats d'évaluation directement exploitables pour améliorer la conception en termes de matériaux (notamment les listes de matériaux), d'assemblage (listes de contrôle)... Permet à l'équipe projet de se poser les bonnes questions |
| 4 | Préconisations assez complètes et pragmatiques classées par thématiques ou objectifs de conception. L'équipe projet est guidée facilement selon les axes d'amélioration souhaités |
| 5 | Préconisations très complètes et illustrées avec des exemples (<i>Success stories</i>) pour sensibiliser l'équipe projet et l'aider pas à pas dans sa démarche tout au long du processus de développement. |

1.6.2 Les outils mis en œuvre en écoconception

La caractérisation de l'approche d'écoconception nécessite la prise en considération de trois dimensions (Janin, 2000) :

- Stratégique, à travers la faisabilité de cette approche.
- Organisationnelle, à travers l'entreprise et sa capacité à mobiliser des acteurs.
- Mise en place d'une procédure d'intégration de l'approche.

Selon les objectifs, les priorités de l'entreprise peuvent être énumérées comme suit :

- Diminution de la consommation de matières premières ou d'énergie;
- Utilisation de matières recyclées ou facilement recyclables;
- Optimisation de la logistique et de l'emballage;
- Réduction des impacts et des ressources énergétiques en phase d'utilisation;
- Optimisation de la durée de vie et valorisation en fin de vie.

1.6.3 Les outils recensés et leur classification

Lepochat (2005) a repris les travaux de Janin (2000), Tischner (2003) et Berkel (1997) qui proposent des typologies comprenant au moins les deux classes d'outils liées à l'évaluation et à l'amélioration environnementales. Leurs typologies diffèrent. Ainsi sont évoqués des outils de management, de stratégie, de hiérarchisation ou de communication aussi bien que des outils complémentaires pour le processus de conception, tels les outils d'aide à la créativité, les outils d'aide au choix de solution de conception.

Janin (2000) propose une lecture « croisée » des performances des outils selon, d'une part leur qualité globale pour l'amélioration, et d'autre part leur qualité globale pour l'évaluation. Les outils d'évaluation sont jugés selon qu'ils sont qualitatifs ou quantitatifs, selon que l'approche est mono ou multicritère, et enfin selon le type des données d'entrée et de sortie. Les outils d'amélioration sont jugés principalement à l'aune de leur facilité d'exploitation et de leur capacité à mener le concepteur à une solution.

1.6.3.1 Les outils d'analyse et de l'évaluation

Le Tableau 1.7 quelques exemples d'outils. Ces méthodes, dès fois complexes ne peuvent pas être utilisées dans toutes les situations ou toutes les étapes du processus de développement du produit.

Parmi ces outils, nous allons présenter en particulier l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) qui est la méthode la plus utilisée et normalisée ISO 14040. De nombreux logiciels ont été développés à cet effet. Cependant, la réalisation et l'exploitation des ACV restent réservées à des experts de par la complexité des méthodes et des données à traiter.

Tableau 1.7 Outils d'évaluation à dominante quantitative
Tirée de (Janin, 2000)

| Type d'outil | Caractéristiques principales |
|---|--|
| Analyse de Cycle de Vie | Évaluation écologique du produit par rapport à de multiples critères: dégradation de la couche d'ozone, acidification atmosphérique, effet de serre,.... Plusieurs méthodes d'évaluations : CML, EPS, Tellus, Eco points... |
| ACV simplifiée Inventaire seul (Ecobilan) | Inventaires des consommations et nuisance du produit |
| Analyse monocritère | Évaluation des impacts d'un produit pour un seul critère |
| Analyse focalisée sur certains points | Évaluation succincte pour identifier les points défavorables du produit et focaliser son étude sur ces points (des problèmes environnementaux et des étapes du cycle de vie particulière). |
| Méthode des Eco-indicateurs | Manipulation aisée d'indicateurs Chiffre représentant des résultats d'ACV |
| MIPS (<i>material Input per units of service</i>) | Évaluation de la consommation d'environnement d'un produit: consommation de matière par unité de service |
| Analyse des coûts de cycle de vie complet | Évaluation des coûts directe et indirecte (environnementaux) engendré par un produit du berceau a la tombe |

D'autres outils ont des approches plus simplifiées et plus accessibles comme les *check-lists* ou listes de contrôle, qui permettent au concepteur d'évaluer si le produit est respectueux de l'environnement à partir d'une série de questions ou de recommandations.

Des listes de substances interdites ou limitées dans leur utilisation permettent également de positionner le produit en termes de composition. Dans le même ordre d'idée, l'ESQCV (Evaluation Simplifiée et Qualitative du Cycle de Vie) vise à rechercher des pistes d'améliorations écologiques tout au long du cycle de vie d'un produit en limitant volontairement le champ abordé à partir d'avis d'expert (Tableau 1.8).

Tableau 1.8 Outils d'évaluation à dominante qualitative
Tiré de (Janin, 2000)

| Type d'outil | Caractéristiques principales |
|--|--|
| Approche cycle de vie | |
| Approche Matricielle | Grille à remplir de manière simplifiée, sur les principaux impacts environnementaux du produit |
| | Évaluation du produit à l'aide de questions ; visualisation des points faibles |
| | Évaluation du produit à l'aide de questions ; visualisation des points faibles sur le tableau (ou matrice) |
| | Évaluation sur trois critères ; consommations de matières, consommations d'énergies et émission de substances toxiques |
| Évaluation basée sur la réglementation | Attribution de notes basée sur la réglementation, selon que les substances émises sont visées ou non |
| Approche spécifique | |
| Indice Écologique | Calcul d'un indice par apport à des critères sélectionnés, avec attribution de pénalités |
| <i>Eco-Compass</i> | Évaluation d'option de conception par apport à un cas de référence (produits existants), sur six critères |
| <i>Check list</i> | <i>Eco estimator</i> ; Évaluation d'un produit existant (listes des questions précises dont les réponses servent à établir une notation) |
| | <i>Fast Five (awareness)</i> ; Évaluation d'un produit en cours de conception (5 questions) |
| | Liste de questions classées par thèmes avec 3 réponses possibles ; Idéal, acceptable, besoin d'agir |
| Liste des matériaux | Liste de substances chimiques visées (à restreindre) par la réglementation. |

1.6.3.2 Les outils d'amélioration

Ces outils vont aider l'équipe de conception dans sa démarche de recherche de solutions en la guidant et lui donnant des conseils en matière de stratégie possibles à adopter. Celles-ci dépendront des priorités fixées par la direction de l'entreprise. Parmi ces outils on peut citer : les normes, les guidelines, les *check-list*, liste des matériaux, l'approche d'éco-labellisation, les logiciels...

1.6.3.3 Les différents types de classification des outils d'écoconception préconisés

Dans les travaux de (Lepochat, 2005), les outils d'écoconception peuvent se décliner en trois grandes familles : les outils d'évaluation, les outils d'amélioration et les outils qui prennent les deux volets à la fois. Une brève description de ces grandes familles est reprise sur le Tableau 1.9.

Tableau 1.9 Types et familles d'écoconception
Tirée de (Lepochat,2005)

| Type (lié à la finalité de l'outil) | Evaluation environnementale | Amélioration environnementale | Evaluation et amélioration |
|--|---|--|--|
| Familles | <ul style="list-style-type: none"> • ACV • ACV simplifiée • Matrice • Checklist | <ul style="list-style-type: none"> • Lignes directrices (Guidelines) • Manuels • Créativité « E », aide au choix de solutions de conception « E » | <ul style="list-style-type: none"> • Logiciels (ACV simplifiée et DfX) • Eco-indicateurs • Outils paramétriques |

Certains auteurs ont proposé un classement selon une typologie et des critères ayant trait aux outils d'évaluation et de préconisation qui sont repris sur le Tableau 1.10 (Janin, 2000; Tischner, 2003; Berkel, 1997; Dewulf, 2003).

Tableau 1.10 Outils d'écoconception et critères d'évaluations
Tirée de (Lepochat, 2005)

| | [JANIN 00] | [TISCHNER 03] | [BERKEL 97a] | [DEWULF 03] |
|---------------------------------|--|--|--|---|
| Typologie des outils | <ul style="list-style-type: none"> • Evaluation • Amélioration • Stratégie • Communication | <ul style="list-style-type: none"> • Analyse (évaluation) • Hiérarchisation des voies d'amélioration • Aide à la créativité • Aide à la décision | <ul style="list-style-type: none"> • Inventaire (évaluation) • Amélioration • Hiérarchisation • Management | <ul style="list-style-type: none"> • Selon leur approche cycle de vie (total ou partiel) • Selon leur type de données en entrée |
| Critères de jugement des outils | Efficacité globale de l'outil pour atteindre son but (sur une échelle de 0 à 5) | Complexité et/ou temps d'utilisation requis | <ul style="list-style-type: none"> • Sensibilité à l'utilisateur • Précision • Pertinence et complétude | <ul style="list-style-type: none"> • Type de résultats (quantitatifs / qualitatifs) • Utilisation : quelle phase du processus de conception ? |

Synthèse

Nous avons présenté les différentes approches d'écoconception ainsi que les outils mis en œuvre pour l'évaluation et l'importance de sa mise en œuvre dans le contexte du traitement de la problématique environnementale en amont du produit. Le traitement de la problématique environnementale est limité par un transfert de pollution contrairement à l'anticipation d'une prise en charge dès les phases préliminaires de conception, que les chercheurs s'accordent à dire que les retombées sont plus bénéfiques. L'avantage d'une telle démarche est la prise en charge de toutes les consommations de matériaux et d'énergie ainsi que des rejets générés tout au long du cycle de vie du produit (Global) et en considérant tous les impacts qui peuvent en découler (Multicritère) et sans transfert de pollution.

À partir de ce constat, il était nécessaire pour nous de faire une évaluation sur tous les outils d'écoconception existant. Ce qui va nous éclairer et aider à trouver la meilleure démarche pour une meilleure appropriation. Le choix d'une telle démarche reste cependant confronté au problème d'appropriation par les utilisateurs potentiels.

Il était nécessaire d'avoir une idée sur la difficulté d'intégration de l'écoconception au sein des PME faire ensuite une proposition de classement des outils qui existent et justifier ce choix par rapport à une meilleure appropriation. Nous allons aborder ce sujet au cours du chapitre 2.

CHAPITRE 2

DIFFICULTÉ D'INTÉGRATION DE L'ÉCOCONCEPTION AU SEIN DES PME : PROPOSITION DE CLASSIFICATION D'OUTILS

En dehors des PME qui ne font pas de conception de produits ainsi que d'autres non concernées par la réglementation environnementale des produits, les causes d'échec de l'application de l'écoconception dans les PME ne peuvent être attribuées à ces dernières seules. En dehors du milieu industriel, il existe des lacunes propres aux outils développés. Ces dernières n'ont pas pris en charge la dimension intégration (Lepochat, 2005).

Dans ses travaux, ce dernier a souligné qu'au-delà de cette évidence sur la perspective de bénéfices directs, tous les auteurs s'accordent à dire que les deux leviers les plus influents pour l'écoconception sont la réglementation et les demandes clients (Tukker, 2000; Ritzen, 2001). Certains auteurs précisent que ces deux leviers sont aussi valables pour les entreprises (Gerstenfeld, 2000 ; Baylis, 1998).

Pour Gerstenfeld, l'absence de réglementation, existante ou perçue, et l'absence de supports d'aides venant des secteurs industriels, sont deux des barrières à la prise en compte de l'environnement dans les PME. Établissant un retour d'expérience sur plus de dix ans d'écoconception dans le monde, Ryan (2003) affirme carrément que, plus qu'un levier, la réglementation est un prérequis à l'intégration de l'écoconception dans les entreprises.

2.1 Intégration de l'aspect environnemental dans un processus de conception

Afin d'intégrer l'aspect environnemental dans un processus de conception de produit, la démarche suit les phases classiques comme pour introduire une autre contrainte. Lepochat (2005) suggère que le processus se déroule en deux étapes :

- L'évaluation environnementale.
- L'amélioration environnementale.

Pour d'autres auteurs, l'écoconception est restreinte à la recherche de solutions et s'articulera sur deux phases suivantes :

- La génération d'idées pour l'amélioration environnementale;
- L'évaluation environnementale des solutions.

L'application à l'entreprise est aujourd'hui démontrée que ce n'est pas aussi simple. Lepochat (2005) se référant aux travaux de Luttrop (2001) évoque les contradictions des objectifs environnementaux, qui peuvent apparaître et qui sont dus à la complexité de l'optimisation multicritère ou que les outils soient l'apanage d'experts, donc non à la hauteur du concepteur ou de l'entreprise.

2.2 Complexité de la dimension environnementale dans l'activité de conception

L'objectif de ce paragraphe est de montrer la complexité d'intégrer la dimension environnementale en conception. Nous allons rappeler le raisonnement multicritère, multi-étape et la complexité par rapport à la conception ainsi que le rôle et les limites du concepteur, son degré de maîtrise et d'appropriation des outils d'écoconception et son degré de préparation afin d'intégrer cette nouvelle dimension dans la conception.

Nous avons repris certaines visions évoquées dans la littérature. Elles sont présentées au cours de ce chapitre. Elles nous permettront, dans la suite de nos recherches, de nous orienter sur les stratégies à développer pour une meilleure appropriation.

Beaucoup de méthodes ont été développées pour l'intégration du paramètre environnemental dans le processus de conception. La recherche relative aux méthodologies et aux outils d'écoconception a été développée grâce aux travaux réalisés par les entreprises industrielles et les organismes de recherche, par exemple Brezet et Hemel (1997), Simon et al. (1998), Lewis et Gertsakis (2001), Mathieux (2004), Lepochat (2005), etc.

La multitude d'outils développés a engendré beaucoup de confusion, malgré que chaque entreprise puisse s'adapter par rapport à ses besoins et ses priorités et spécificités. La mise en place d'une démarche d'écoconception et le choix des outils d'évaluation sont les premières difficultés auxquelles sont confrontées les concepteurs et les entreprises.

La modélisation dans le processus de conception est difficile puisqu'il s'agira de définir simultanément le problème et la solution. Même s'il est reconnu qu'au cours de l'avancement le degré d'abstraction diminue, il faudra toutefois faire des va et vient entre phases car le cahier des charges peut évoluer « le processus de conception n'est pas linéaire mais parallèle » (Millet et al 2003).

Des modèles de processus de conception ont été proposés. Des documents de référence indiquent la démarche à suivre pour intégrer la contrainte environnementale dans un processus de conception. La Figure 2.1 illustre les différentes phases de ce processus (ISO 14062).

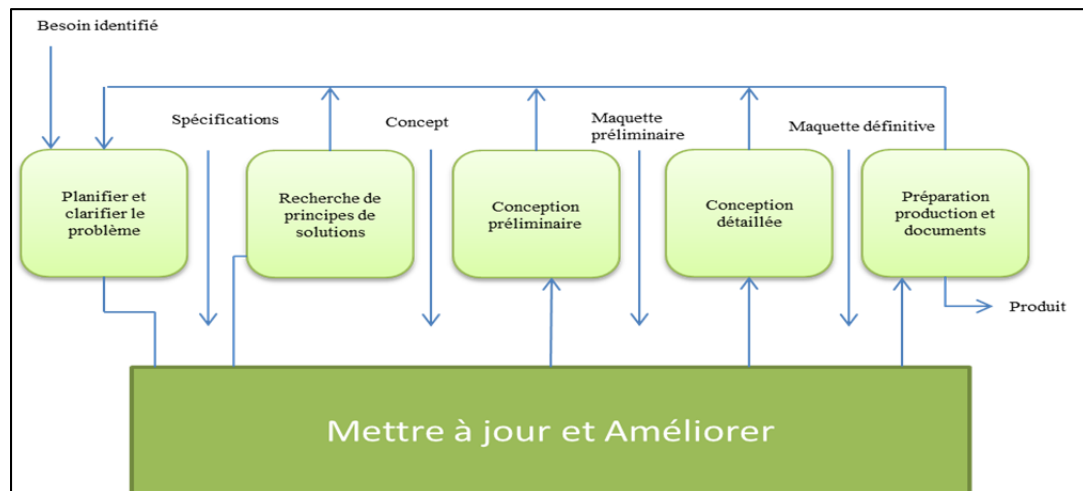


Figure 2.1 Intégration des aspects environnementaux dans le processus de conception de produit (ISO 14062).

De nos jours les habitudes de consommation ainsi que la concurrence ont conduit les entreprises à travailler pour améliorer, innover dans les produits (miniaturisation, confort, multi-usage etc...), ce qui rend le processus de conception plus complexe. Dès lors, il sera

nécessaire de faire appel à de nouvelles disciplines qu'il faudra intégrer dans le processus de conception. Dans le cas de nouveaux produits, la situation devient plus complexe et la conception doit faire appel à la créativité.

2.3 Le raisonnement multicritère, multi-étape et la complexité par rapport à l'écoconception

L'environnement englobe en son sein un ensemble de discipline allant de la géologie, climatologie, de la biologie de la chimie, l'économie, le droit etc....

La gestion de toute cette panoplie de disciplines, appliquées au cycle de vie du produit (analyse multi-phase) et pour divers impacts environnementaux (analyse multicritère) rend cette opération très difficile à maîtriser. Cette approche doit :

- Traduire les consommations, les pollutions et rejets en impacts.
- Pouvoir hiérarchiser en fonction des diverses catégories d'impacts (sur l'eau, l'air) (Millet et al, 2003).

Si le concepteur s'intéresse au cycle de vie du produit, il doit aussi prendre en considération tous les transferts d'impacts qui peuvent être engendrés lors de l'évaluation. Il doit intervenir sur toutes les étapes et doit faire des compromis entre les aspects environnementaux, économiques, sociaux et techniques.

2.4 L'environnement comme une dimension non maîtrisée dans l'amélioration du produit

Nous avons évoqué précédemment la problématique du processus de conception, la difficulté de définition de la dimension environnementale ainsi que son manque de compréhension des acteurs d'écoconception.

Millet (2003) et Lepochat (2005) s'accordent pour dire que la dimension environnementale est complexe. Plus spécifiquement, Lepochat a évoqué les facteurs de complexité, qui sont :

- La problématique environnementale requiert une somme importante des connaissances.

- L'écologie fait appel à un nombre important de sciences fondamentales.
- La nécessité de connaître de nombreux systèmes (techniques, données, procédés, statistiques des phénomènes sociétaux etc.).
- Information floue des phénomènes environnementaux et manque de données ou difficulté d'accès.
- Les lacunes culturelles (langage, concepts etc.) de la dimension environnementale dans le monde industriel.

2.5 Difficulté d'appropriation des outils d'écoconception au sein des entreprises

Dans ce qui suit, nous allons faire la lumière sur la multitude d'outils d'écoconception existant et donne les raisons qui incitent faiblement les entreprises à les utiliser.

2.5.1 Multitudes d'outils et difficulté d'usage par le concepteur

À l'état actuel, il existe une large gamme d'outils d'écoconception (Baumann et al,2002). Il est aussi difficile de savoir si ces outils sont utilisés par les entreprises mais aussi leur rôle dans le développement du produit. Les outils d'écoconception dont les résultats sont exprimés en termes environnementaux incitent moins les concepteurs à l'utilisation (Luttrop et al,2006).

Dewulf (2003) constate qu'un certain nombre d'outils utilisés nécessitent un grand nombre de données, c'est l'exemple des analyses du cycle de vie (ACV) ou *DFE (Design for environment)*. Ces outils ont fait déjà leur preuve au sein de grandes entreprises disposant de ressources financières et humaines suffisantes mais ne sont pas à la portée de petites entreprises.

Les concepteurs sont confrontés à des contraintes telles que le choix des outils à adapter au contexte de l'entreprise, l'interconnexion de ces outils avec ceux habituellement utilisées

dans le processus de conception et l'acquisition de compétences afin de pouvoir utiliser l'outil adapté au bon moment (Tatiana, 2007).

Pour Lofthouse (2006), beaucoup de concepteurs ne considèrent pas avoir les outils adaptés et par conséquent ils ne savent pas conduire un projet d'écoconception. (Tukker et al, 2000) notent quatre raisons du manque d'utilisation de ces outils :

- Les outils et méthodes sont peu ou pas expérimentés dans les contextes industriels: les chercheurs sont les plus actifs dans le développement et la mise en œuvre de l'écoconception, alors que la participation des industriels reste faible.
- Manque de coopération et d'échange d'information entre les concepteurs et les usagers de ces méthodes et outils.
- Le manque d'outils faciles à utiliser.

2.5.2 Difficulté d'adéquation des outils avec la réalité industrielle

Une multitude d'outils d'écoconception existe ou sont en cours de développement par des chercheurs, bureaux d'études, institutions et autres experts. Malgré un large éventail de méthodes et d'outils disponibles, peu sont utilisés par les entreprises (Ammenberg et al, 2005).

Les difficultés rencontrées par les entreprises sont en général liées au problème du choix de l'outil et son adaptation au contexte de l'entreprise, sans perdre de vue qu'il y a d'autres instruments de conception qu'il faudra mettre en œuvre parallèlement.

Il est fondamental à une entreprise qui veut introduire une méthode au-delà de son choix, d'accompagner celle-ci et de mettre en place une stratégie d'intégration (Perrin, 2005).

En général, l'écoconception fait appel à des outils qui exigent l'utilisation d'un grand nombre de données qui peuvent dépasser les frontières de l'entreprise. Cette opération assez longue, délicate et onéreuse n'encourage pas les entreprises à faire leur choix de l'outil.

Les évaluations au cours du cycle de vie doivent être intégrées comme tout autre critère de conception à travers un guide de conduite bien renseigné. Dès lors, le concepteur utilisera l'outil systématiquement comme tous les autres outils classiques.

2.5.3 Difficultés liées à l'utilisation de l'ACV lors des premières phases du *design*

Les bénéfices de l'utilisation de l'analyse de cycle de vie le plus tôt possible lors de la conception d'un produit manufacturier ont été prouvés. Des experts ont estimé que près de 80 % des impacts environnementaux sont liés aux choix de conception (Graedel, 1998). Or il est beaucoup plus facile d'évaluer le cycle de vie d'un produit déjà existant dont les impacts relatifs à la production, à l'utilisation ou à la fin de vie sont documentés et quantifiés qu'un nouveau produit en cours de conception.

Il est difficile d'évaluer les implications des choix de conception sur les étapes de la production, de l'utilisation et de la fin de vie. Par exemple, dans le cas de la fabrication de nouveaux produits, les procédés ainsi que les lieux de production ne sont généralement pas connus (Mylene Fugere, 2009). De plus, plusieurs options peuvent être envisagées pour un même produit (par exemple différents matériaux ou différents design). Si l'on utilise l'ACV comme outil de décision, chacune de ces options devrait être modélisée, ce qui augmente la quantité de données nécessaires.

Les travaux de Lepochat (2005) mettent également en évidence deux situations limitant la portée des résultats d'une évaluation environnementale telle que l'ACV :

- Soit les résultats sont "évidents" : l'expert sait, avant même d'avoir réalisé l'évaluation, quels sont les problèmes environnementaux posés par le produit. Parfois même, l'industriel lui-même "sait sans savoir". Dans ce cas, l'ACV, en quantifiant des indicateurs d'impacts environnementaux, a néanmoins l'avantage de confirmer

des résultats dont on sait qu'ils sont valables, en général, et de valider les connaissances de l'expert (donc de renforcer l'expertise);

- Soit, les résultats sont techniquement ou économiquement inexploitable par l'industriel. » (Lepochat, 2005).

2.6 Mise en œuvre de la dimension environnementale dans le processus de conception du produit

2.6.1 Mise en œuvre de l'écoconception dans les étapes préliminaires

Pour aboutir à des améliorations environnementales qui facilitent l'évolution à travers les différentes étapes de la production durable, l'écoconception doit être adaptée pour devenir une partie naturelle du processus de conception et de préférence le plutôt possible dans ce processus (Lagerstedt, 2003). Cette affirmation est soutenue par différents auteurs (Bhamra et al. 1999; Luttrupp et Lagerstedt, 1999; Lindahl, 2006). En effet, les étapes préliminaires de la conception sont des étapes critiques où les critères environnementaux doivent être considérés et intégrés car entre 80 % et 90% des coûts économiques et environnementaux d'un système sont définis dans ces étapes. En revanche, dans les étapes suivantes il devient extrêmement difficile de réaliser des modifications sur les performances environnementales des systèmes (Sherwin et Evans, 1998). Selon la norme ISO/TR 14062, l'intégration des aspects environnementaux dans la conception d'un produit et le développement d'un procédé doit être réalisée le plus tôt possible afin de faciliter la flexibilité, de faire des changements et des améliorations (Kengpol et Boonkanit, 2011). En conséquence, il est préférable de prendre en compte les aspects environnementaux dans les étapes préliminaires.

2.6.2 L'écoconception : un outil multidisciplinaire

Enfin nous allons terminer ce chapitre en montrant une caractéristique importante de l'écoconception. Il s'agit de sa multidisciplinarité : elle fait généralement intervenir différents acteurs. Chacun de ces acteurs a des compétences différentes ainsi que des niveaux de connaissances très variables en ce qui concerne l'écoconception et l'analyse de cycle de vie

(Janin, 2000). La Figure 2.2 montre un exemple de différents acteurs, qu'ils soient externes ou internes à l'entreprise, qui ont de l'influence sur ce processus (Mylène Fuger, 2009). Parmi les acteurs privilégiés dans les équipes de conceptions, il y a des employés des départements de recherche et développement, de marketing et des achats.

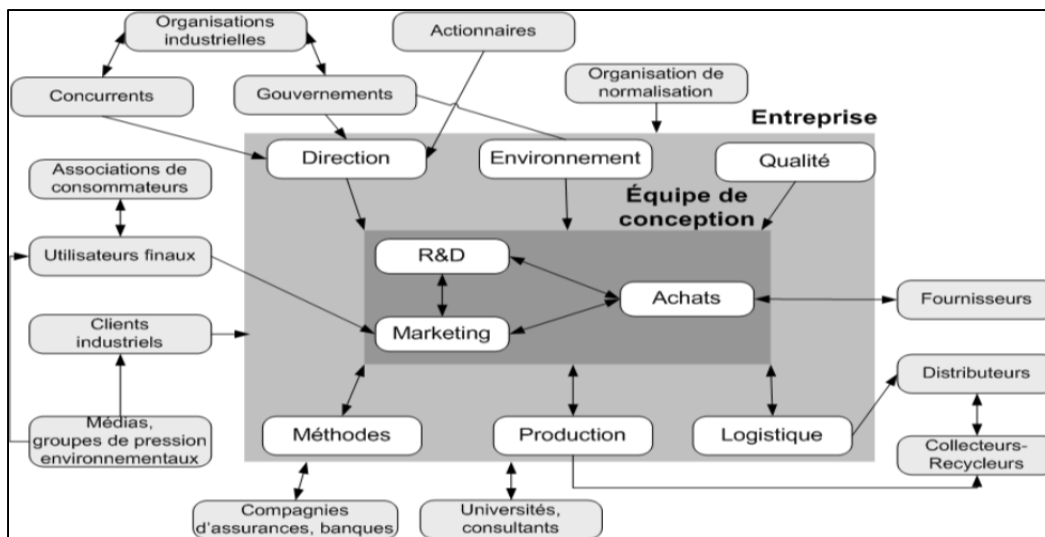


Figure 2.2 Acteurs internes et externes concernés par l'écoconception.
Tirée de (Brezet, Van Hemel, 1997; Janin, 2000)

Synthèse

Nous avons passé en revue l'outil d'écoconception, notamment sa non maîtrise et la difficulté d'appropriation et sa mise en œuvre dans les étapes préliminaires de conception.

En plus des problèmes relatifs à la recherche de données quantitatives, l'application d'une évaluation environnementale approfondie telle qu'une analyse de cycle de vie reste limitée par plusieurs facteurs. Si l'on recherche à faire une ACV détaillée, ceci implique qu'une entreprise doit investir beaucoup de temps et de ressources. Elle doit former ou engager des praticiens et mettre à leur disposition les données nécessaires. En raison de sa complexité, l'ACV nécessite l'intervention d'un expert.

En plus de la difficulté d'appropriation, les outils ne prennent pas en compte la dimension utilisateur. Souvent aussi, il existe des contradictions dans le choix des solutions de préconisation. À partir de cette problématique, nous avons orienté notre méthodologie vers la recherche d'outils à travers une classification simplifiée et qui permettra une meilleure appropriation dans le cadre d'une démarche éco-innovante. C'est l'objet de notre prochain paragraphe.

2.7 Proposition de classement d'outils existant dans le but de simplifier leur appropriation par les utilisateurs

Afin d'identifier les lacunes et les limites des outils actuels, nous avons analysé les outils identifiés comme outils d'écoconception et d'éco-innovation dans l'état de l'art actuel de la littérature scientifique.

En dehors des PME qui ne font pas de conception de produits, ainsi que d'autres non concernées par la réglementation environnementale des produits, les causes d'échec de l'application de l'écoconception dans les PME ne peuvent être attribuées à ces dernières seules. Des lacunes propres aux outils développés en dehors du milieu industriel existent, en particulier dans la prise en charge de la dimension sociale (utilisateur) et l'intégration ou l'appropriation au sein de l'entreprise.

Beaucoup d'outils ont été développés dans le but d'aider les concepteurs à évaluer et à prendre en considération l'impact environnemental dans la conception de produits et services et ce, tout au long du cycle de vie. Les ACV ont acquis une notoriété, notamment dans l'évaluation des impacts. Malheureusement l'utilisation reste limitée à cause de la lenteur d'exécution d'une part et la qualité des données ou la limitation à l'accès dans certains cas et surtout l'appréhension par les PME à cause que des experts doivent être de la partie. C'est dans cette optique qu'il faudra travailler afin de préserver la validité scientifique de cet outil et rechercher des méthodes d'appropriation et d'intégration facile au niveau des entreprises.

Les outils donnés dans la littérature intègrent parfaitement la dimension environnementale du produit, en particulier à travers la notion centrale de cycle de vie du produit. Elle n'offre par contre, aucune aide quant à une réflexion sur la dimension sociale du produit, son impact sur l'utilisateur, ni l'appropriation des outils par les entreprises.

C'est peut être, pour une de ces raisons qu'après une revue de toutes les méthodes existantes, dans le cas de notre recherche bibliographique, nous nous sommes demandés, quelle était la meilleure façon de classer ces outils, puis choisir les plus faciles d'appropriation sans perdre de vue leur validité scientifique. Cette classification tient compte des hypothèses que nous avons jugées être pertinentes et qui sont reproduites sur le Tableau 2.1.

L'échelle de niveau, basée sur le degré d'appropriation par l'utilisateur est divisée en 5 (niveau 0 à 4) allant de l'ignorance à une échelle qui exige de l'expertise et des connaissances approfondies.

Tableau 2.1 Propositions de différents niveaux d'intégration par analogie à l'échelle
Tirée de (Tukker, 2000)

| Niveau | Analogie à l'échelle | Force de l'outil | Facilité d'intégration |
|--------|----------------------------|---|---|
| 0 | Ignorance | Pas d'évaluation mais présente une préconisation | Intégration à la portée des utilisateurs |
| 1 | Intéressement | Évaluation qualitative avec préconisation | Intégration à la portée des utilisateurs assez documentés |
| 2 | Compréhension | Évaluation qualitative et quantitative avec préconisation | Intégration moyenne et nécessitant des données |
| 3 | Compétence | Évaluation qualitative sans préconisation | Intégration nécessitant données et expertise |
| 4 | Connaissances approfondies | Évaluation quantitative sans préconisation | Intégration difficile exige expert, données, temps et moyens. |

À chaque niveau, la force de l'outil est évaluée. Il en résulte deux grandes familles :

- Des outils de préconisation.
- Des outils d'évaluation.

Les outils de la première catégorie peuvent se baser, en général sur une évaluation pour certains d'entre eux, mais cette évaluation peut être non nécessaire pour d'autres. Les outils d'évaluation qualitatifs ou quantitatifs, dont la facilité d'intégration est moyenne peuvent aller jusqu'à la préconisation des solutions.

Les outils qui font appel à des données, des moyens et de l'expertise peuvent se limiter à l'évaluation qualitative ou quantitative. Les outils d'écoconception généralement utilisés, avec un classement selon la facilité d'intégration, sont donnés sur la Figure 2.3.

À l'issue de cette classification, nous avons opté de travailler sur des outils de préconisation basés sur l'utilisation d'une matrice sous forme d'une ACV simplifiée pour guider le concepteur (Figure 2.3). Ce choix étant justifié :

- Pour éviter d'utiliser des données chiffrées difficiles d'acquisition en général;
- Tenir compte de l'évaluation multicritère et globale mais simplifiée;
- Compléter l'évaluation par une méthode de préconisation pour orienter le concepteur.

D'un point de vue conceptuel, l'intégration de la contrainte environnementale dans le processus de conception ne pose pas de problème méthodologique. La démarche peut être analogue à l'introduction de toute nouvelle contrainte et s'articule sur une :

- Évaluation de la qualité environnementale du produit à travers une analyse de l'existant.
- Recensement des facteurs d'impacts environnementaux.
- Proposition de solutions.
- Validation.

Nous avons choisi de travailler avec un outil d'écoconception pour la préconisation de solution (ACV simplifiée) et un outil de préconisation de solution comme support au précédent dans le cadre d'une solution éco-innovante.

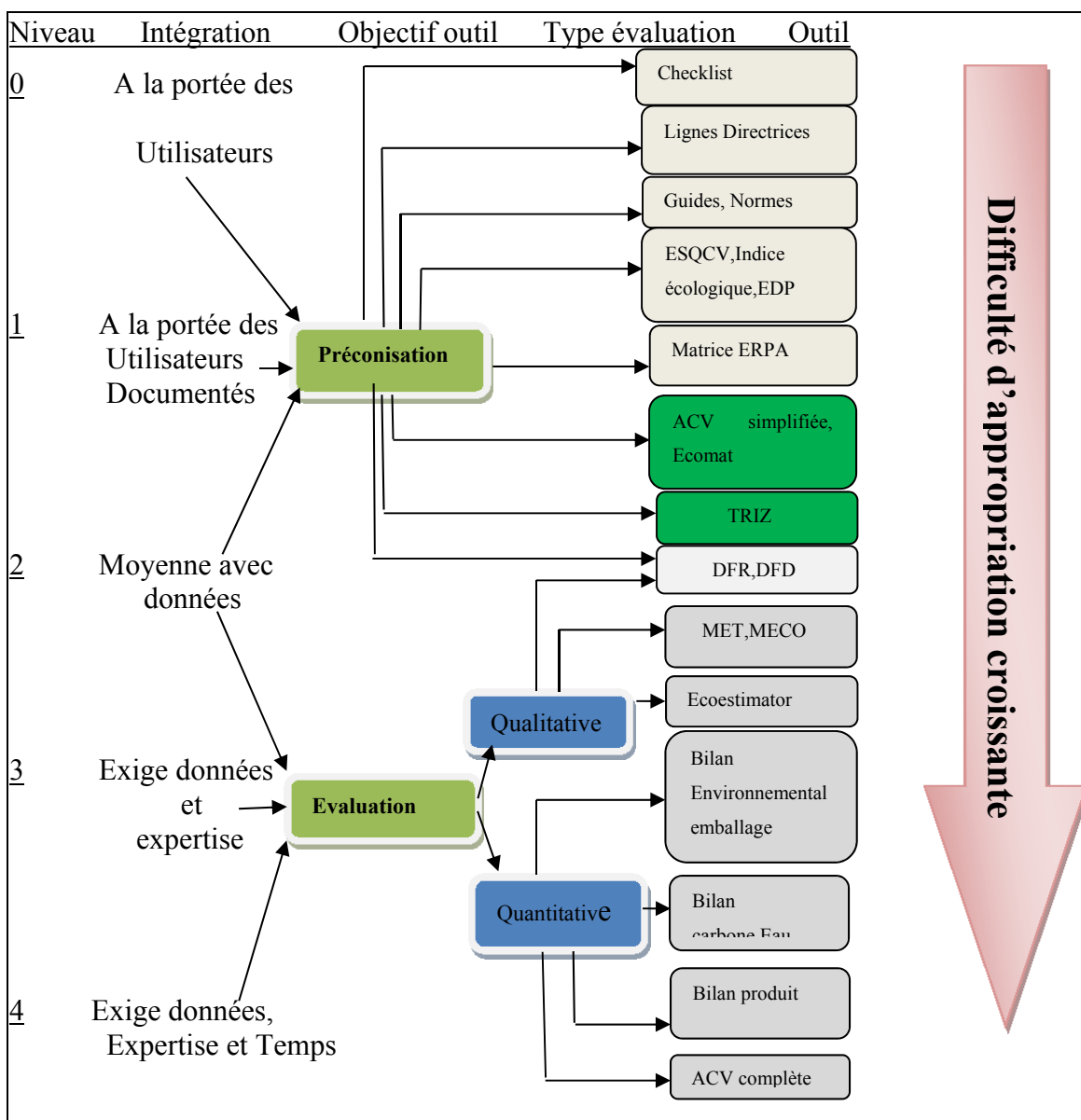


Figure 2.3 Classification des outils par degré d'intégration.

Synthèse

Après avoir mis l'accent sur l'état de la recherche dans ce domaine, notre démarche de recherche d'outil d'écoconception adapté est basée sur la mise en œuvre des points suivants :

- La recherche d'outils nouveaux ou existants par possibilité d'adaptation aux entreprises pour une meilleure appropriation;
- L'optimisation pendant la période de conception en améliorant la qualité des données pour de meilleurs résultats;
- Aider le concepteur ou l'entreprise à l'appropriation ou le choix parmi le ou les outils proposés.

Cette façon de procéder pourra aider le concepteur et encourager l'entreprise à choisir une démarche et atteindre un niveau d'écoconception à la hauteur des moyens dont elle dispose. Une application simplifiée globale et multicritère peut être proposée aux équipes de conception sous forme d'un guide méthodologique. C'est d'ailleurs, l'objectif ultime de cette recherche.

De plus l'évaluation résultante par utilisation de l'outil peut mettre l'utilisateur dans une situation difficile lors du choix de conception, notamment s'il s'agit de deux solutions contradictoires. Dès lors, il faudra une solution sans compromis. C'est ce qui justifie notre choix de la méthode des principes inventifs TRIZ qui pourra être mise à profit pour lever la contradiction.

À ce stade, il sera utile, avant tout, de rappeler quelques outils d'éco-innovation utilisés jusqu'ici. C'est l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 3

REVUE DES MODÈLES UTILISÉS DANS LE CADRE D'UNE CONCEPTION ÉCO-INNOVANTE

L'éco-innovation comme objectif de notre démarche a été évoquée dans les chapitres précédents par une démarche d'écoconception et d'innovation. Au cours de ce chapitre, nous présenterons quelques démarches appliquées dans le cadre d'une diversité importante de concepts, qui prennent en compte l'approche « développement durable ». Les éco-innovations que nous avons recensées caractériseront cette diversité et nous guideront vers une démarche plus simplifiée et ainsi facile à mettre en œuvre et dont nous allons discuter dans les chapitres à venir.

L'ensemble des outils que nous proposerons sont basés sur la théorie TRIZ, et sur laquelle nous allons focaliser notre discussion, à travers un guide d'initiation aux méthodes et outils de la TRIZ proposé par Blossier (2002), s'inspirant de Khomenko (2002). Le développement d'une telle méthode basés sur la matrice des contradictions est justifié par le besoin de répondre à notre question de recherche par rapport à certaines contradictions qui peuvent être rencontrées lors de l'évaluation des impacts environnementaux.

3.1 Présentation de TRIZ

L'appellation TRIZ découle de l'acronyme russe qui signifie Théorie de Résolution de Problèmes d'Invention. Cette théorie comprend un ensemble de méthodes et d'outils d'aide à l'invention dont les plus grands succès ont conduit à des innovations dans les domaines de l'ingénierie. La méthode TRIZ est une méthode d'innovation, issue des travaux de Altsuller (1999), qui a pour objectif de systématiser la démarche de résolution de problème. Cette méthode TRIZ a été étudiée par de nombreux auteurs, et notamment sur sa pertinence dans l'approche d'éco-innovation.

Elle est perçue comme étant une méthode à haut potentiel en éco-innovation comparée aux méthodes d'éco-innovation préexistantes (Jones, 2003 ; Russo et Regazzoni, 2008). TRIZ repose sur la mise en évidence des lois d'évolution des systèmes techniques et des contradictions à surmonter à chaque pas de cette évolution.

3.1.1 Les niveaux d'inventivité

Les recherches sur TRIZ commencèrent avec l'hypothèse qu'il existe des principes universels d'invention, et que si ces principes pouvaient être identifiés et formalisés, ils pourraient être enseignés aux gens pour rendre le processus d'invention plus prévisible.

Près de 2 millions de brevets ont été examinés, classés par niveau d'inventivité, et analysés pour chercher des principes génériques d'invention. Les trois premières constatations de cette recherche furent les suivantes :

- Des problèmes et des solutions étaient répétés dans l'industrie et dans les sciences;
- Des modèles d'évolution technique étaient répétés dans l'industrie et dans les sciences;
- Des innovations utilisaient des effets scientifiques en dehors des domaines dans lesquels ils étaient développés.

Une invention peut aussi bien être une amélioration mineure d'un produit déjà existant et n'ayant demandé que peu de temps pour être trouvée, qu'une découverte résultant de recherches très longues (on peut la caractériser par un nombre d'essais au cours d'un processus de recherche de type essais-erreurs).

3.1.2 Pour résoudre un problème, il faut chercher la solution

Les approches permettant la résolution d'un problème laissent souvent un goût d'inachevé au concepteur. On peut en distinguer plusieurs types d'approche pour chercher une solution :

A- Les techniques de type essais et erreurs (Figure 3.1) : La direction de la recherche n'est pas connue, la prospective de recherche de solutions se fait de manière aléatoire, le but étant de couvrir un maximum d'espace de solutions en multipliant les essais.

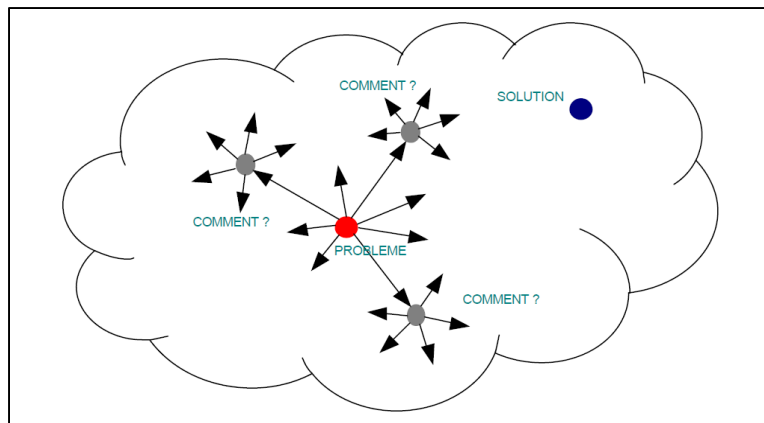


Figure 3.1 Technique du type Essais-Erreurs.
Tirée de (Khomenko, 2002).

Inconvénients :

- Le pourcentage de chance de parvenir à une solution est réduit;
- Il manque une méthode afin de guider la résolution;
- Des ressources importantes sont nécessaires (temps, personnes, coût...) pour couvrir tout l'espace de solutions.

B- Les techniques de type brainstorming: le brainstorming est basé sur la logique associative. Il consiste d'abord en une rencontre d'idées la plus large possible et sans jugement de valeur. Les idées émises sont ensuite critiquées et évaluées (Figure 3.2). L'idée est de privilégier la pluridisciplinarité des personnes afin d'observer le problème sous divers angles.

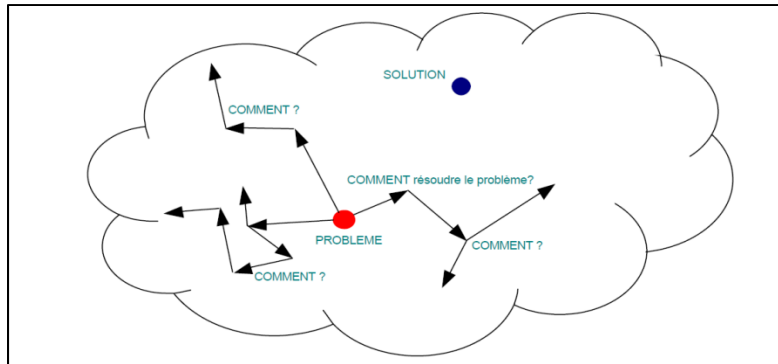


Figure 3.2 Techniques genre Brainstorming.
Tirée de (Khomenko, 2002)

Inconvénients :

- On ne trouve que des solutions se trouvant dans les domaines de compétences des membres du groupe;
- Il manque un objectif bien défini afin d’orienter la résolution;
- L’impression de se trouver face à une impasse peut bloquer la production créative.

Une bonne stratégie serait alors une analyse méthodique de la situation problématique. Cette stratégie serait constituée d’un ensemble de règles qui, appliquées aux contraintes et données du problème, serait susceptible de fournir une réponse optimale.

3.2 Les principes de TRIZ

TRIZ s’appuie sur certains principes qui se dégagèrent des recherches effectuées par G. Altshuller (1999) sur la résolution des problèmes :

- Existence de tendances logiques d’évolution des systèmes : Il existe des lois d’évolution des systèmes. Ces lois peuvent être découvertes, étudiées et formalisées pour être appliquées à la résolution de problèmes.

- Une contradiction comme cause de tout problème : durant leur évolution, les systèmes surmontent des contradictions issues de l'opposition des lois de la nature à ces évolutions. Les conditions spécifiques de la situation problématique est que tout problème ne peut être résolu qu'à travers l'analyse des conditions spécifiques de la situation problématique.

L'objectif de TRIZ est donc d'apporter, par des outils et des méthodes, une orientation dans la bonne direction comme le montre la Figure 3.3 :

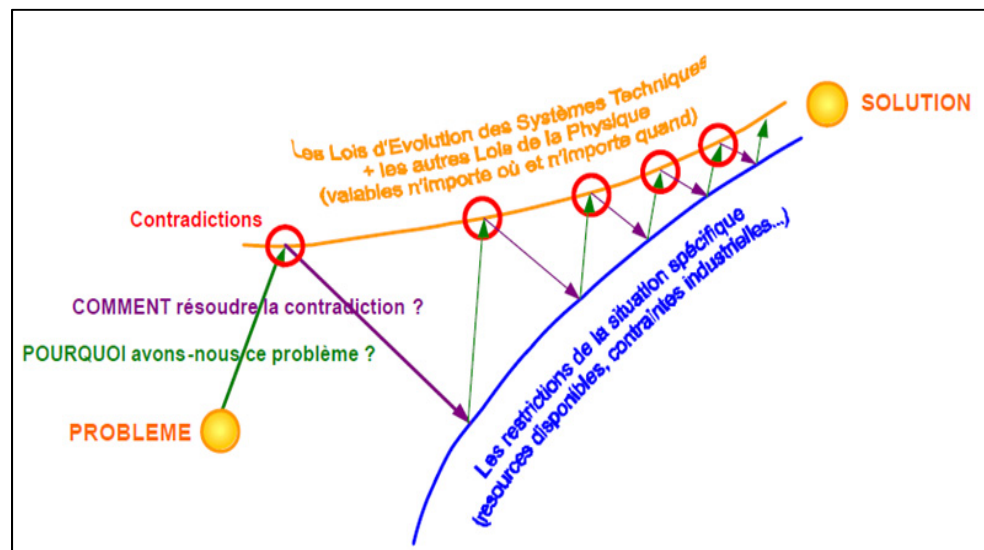


Figure 3.3 TRIZ : une orientation dans la bonne direction.
Tirée de (Khomenko, 2002).

TRIZ est un moyen d'accès à une abstraction de la connaissance (Figure 3.4). Cette dernière étant nécessaire pour surmonter toute contradiction et la résoudre en faisant appel à une large connaissance.

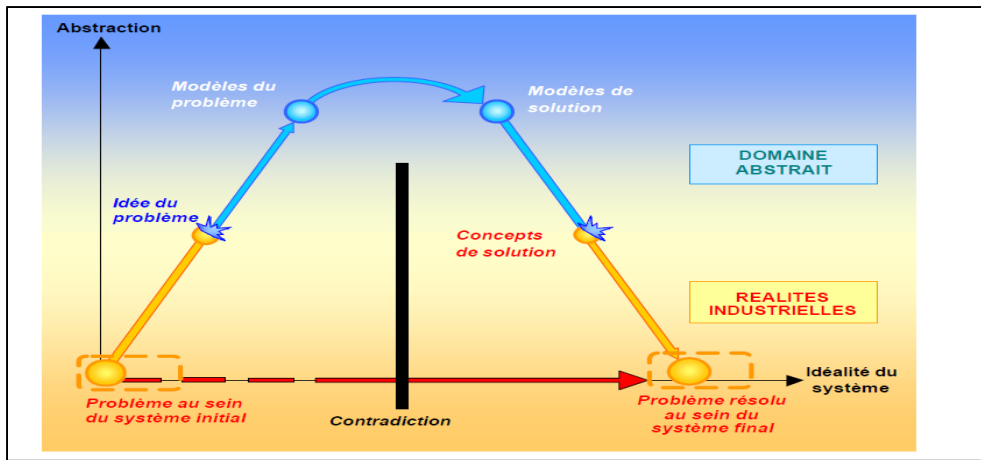


Figure 3.4 Abstraction de connaissance pour surmonter les contradictions.
Tirée de (Khomenko, 2002)

Une analogie mathématique permet d'illustrer cette abstraction (Figure 3.5). Une méthode du type essais et erreurs permet d'atteindre la solution mais nécessite beaucoup de temps.

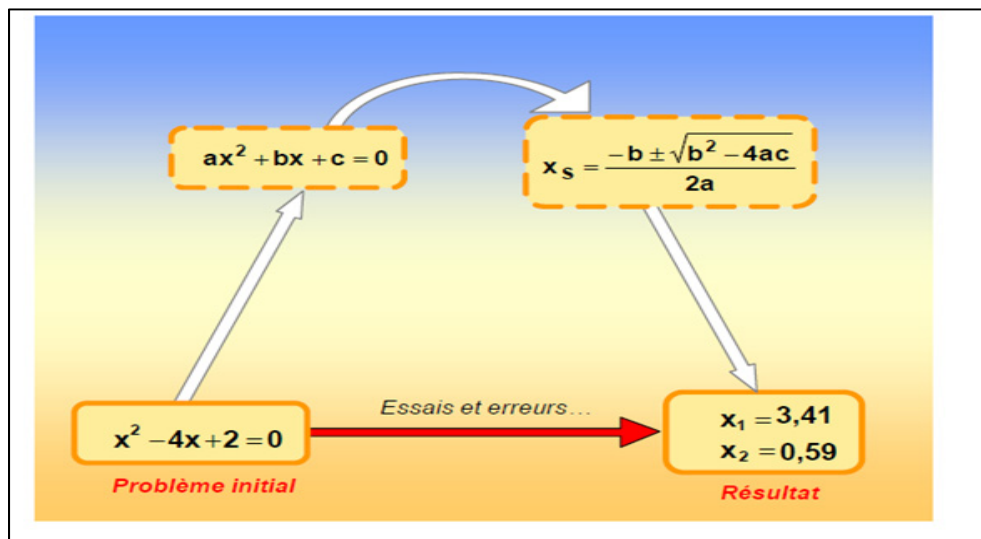


Figure 3.5 Analogie Mathématique.
Tirée de (Khomenko, 2002)

3.3 Notions importantes de TRIZ

Dans leurs travaux Cédric Lusseau et Lionel Gendre (2010) se rapportant à Altshuller (1999) l'analyse des inventions existantes (notamment à l'aide des brevets) était une excellente source d'idées pour les inventeurs, à condition de ne pas s'arrêter à un seul champ d'applications et d'avoir une approche suffisamment transversale. Autrement dit, pour apprendre à inventer, il faut apprendre et comprendre les principes de fonctionnement d'inventions issues de domaines scientifiques et technologiques variés : cela permet de penser à des solutions qu'une approche "mono-disciplinaire" n'aurait jamais fait émerger, voir Figure 3.6.

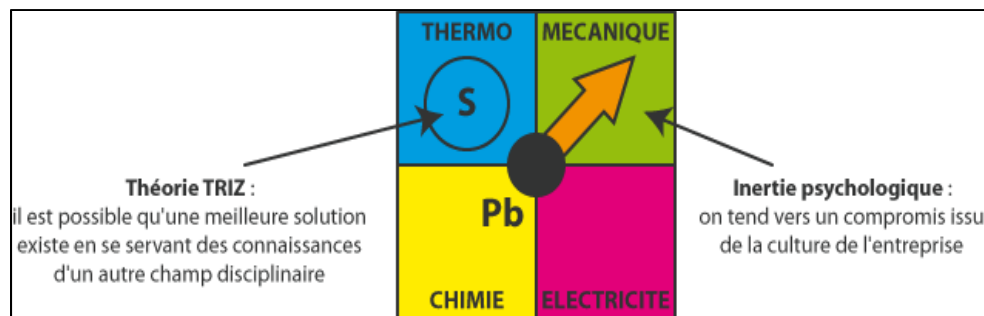


Figure 3.6 Principe essentiel de TRIZ.
Tirée de (Lusseau et Gendre, 2010)

3.4 TRIZ : une théorie et une démarche

Pour Lusseau et Gendre (2010), le métier d'Altshuller, l'ayant amené à examiner des milliers de brevets, a mis son idée en pratique et l'a conduit à formuler les observations suivantes, qui sont à la base de sa "Théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs", connue sous son acronyme russe TRIZ (pour Teorija Reshenija Izobretateliskih Zadatch) :

- La plupart des inventions reposent sur des principes communs. À partir de l'analyse de plusieurs millions de brevets, Altshuller et ses collègues ont identifié 40 principes abstraits, transversaux, et postulé que chaque invention est une concrétisation, dans un domaine spécifique, d'un ou plusieurs de ces principes.

- Les problèmes techniques résolus par ces inventions se ramènent souvent à des contradictions entre plusieurs exigences. Altshuller a ainsi recensé 39 paramètres génériques sur lesquels peuvent porter ces contradictions.
- Pour chaque contradiction identifiée, il existe un ou plusieurs principes de résolution "privilégiés".
- Enfin, l'évolution des systèmes technologiques obéit elle aussi à certaines tendances, qu'Altshuller a formalisées par des lois d'évolution. Ces lois permettent de prédire les évolutions futures d'un produit donné et, donc, les améliorations que l'on peut lui apporter.

À partir de ces observations, Altshuller a proposé une démarche générale pour la résolution des problèmes inventifs, c'est-à-dire des problèmes techniques pour lesquels aucune solution technique satisfaisante n'est connue des concepteurs. Cette démarche se déroulant en trois étapes est donnée sur la Figure 3.7 :

- Modélisation du problème technique par un problème générique abstrait (par exemple par une ou plusieurs contradictions).
- Recherche des voies de solution génériques correspondant à ce problème générique.
- Concrétisation d'une (ou plusieurs) de ces voies de solution génériques en une solution technique, qui répond spécifiquement au problème technique initial.

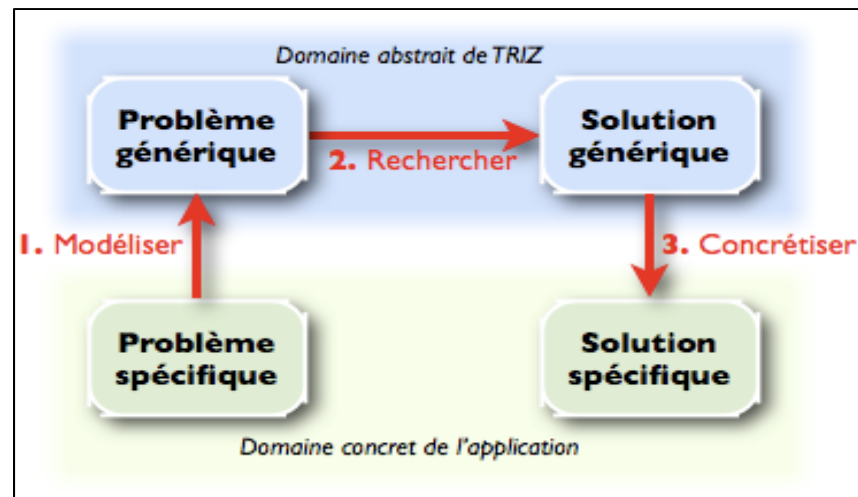


Figure 3.7 Démarche de TRIZ.
Tirée de (Lusseau et Gendre, 2010)

Il est à remarquer que TRIZ ne génère pas de nouvelles idées mais suggère des idées auxquelles les concepteurs n'auraient pas forcément. Aussi elle ne donne pas de solution toute faite et ne remplace pas les méthodologies de conception habituelles.

3.5 Les problèmes génériques de TRIZ

3.5.1 Les contradictions

TRIZ distingue deux types de contradictions: contradictions techniques et contradictions physiques.

Pour chaque type de contradiction, TRIZ propose des principes de résolution dont le principe essentiel est le refus du compromis. Face à des exigences contradictoires, les concepteurs optent fréquemment pour des compromis. Les principes de TRIZ, au contraire, proposent de faire évoluer le produit de sorte à agir sur les causes du problème, ce qui permet d'éviter les compromis.

Dans le cas des contradictions techniques et Pour trouver des voies de solution, il suffit donc de rechercher, dans la liste des 39 paramètres, lesquels s'appliquent le mieux à la caractéristique à améliorer et à celle à ne pas dégrader (il y a généralement plusieurs choix possibles); la matrice des contradictions donne alors directement des idées de solutions. La contradiction technique ci-dessus aboutit ainsi à quelques principes, qu'on peut voir sur la Figure 3.8.

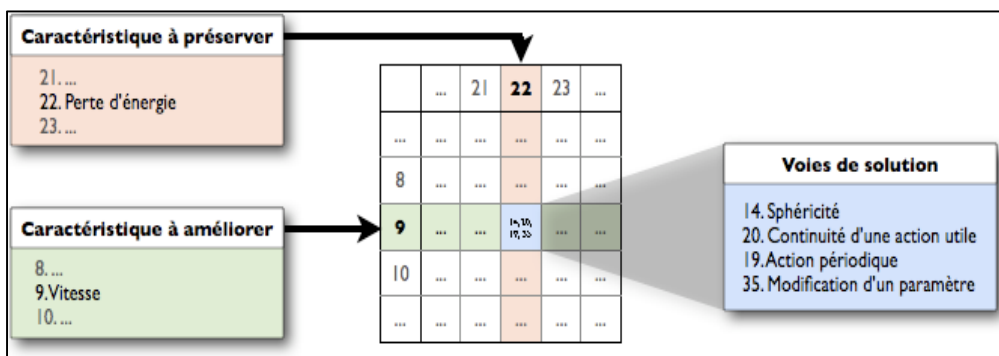


Figure 3.8 Principe d'utilisation de la matrice de contradiction.
Tirée de (Lusseau.C; Gendre.L, 2010).

Dans le cas des contradictions physiques, celles-ci se produisent lorsqu'une partie du produit doit avoir deux propriétés incompatibles. La résolution des contradictions physiques ne fait pas appel à la matrice des contradictions ; Altshuller a proposé 11 principes de résolution, dont deux exemples courants sont :

- La séparation en espace;
- La séparation en temps.

3.5.2 Modélisation *S-Field*

La modélisation S-Field ou substances/champs est plus riche que l'écriture directe des contradictions. Elle permet, grâce à son approche fonctionnelle, de prendre en charge des situations plus complexes. Elle consiste à choisir une zone d'espace et de temps autour du problème, et à y recenser :

- Les objets matériels en présence (substances dans la terminologie TRIZ);
- Les formes d'énergie en présence (champs dans la terminologie TRIZ).

3.5.3 Fonctions et effets

Une autre ressource proposée par TRIZ pour trouver des idées de solutions. Elle répertorie un certain nombre de fonctions techniques génériques et, pour chacune d'elles, donne une liste d'applications de phénomènes physiques, chimiques ou géométriques ("effets" dans la terminologie TRIZ), pouvant être exploitées pour réaliser cette fonction. Par exemple, pour réaliser la fonction "séparer les constituants d'un mélange", les effets suivants sont proposés :

- Séparation par un champ électrique ou magnétique
- Utilisation de la viscosité magnétique
- Centrifugation
- Sorption
- Diffusion
- Osmose
- Électro-osmose
- Électrophorèse

3.5.4 Les lois d'évolution

Selon ces règles, Altshuller (1984) en dénombre huit. D'autres variantes ont été proposées par la suite. Une de ces lois joue un rôle particulièrement important : c'est la loi de l'idéalité, qui postule que tout système évolue de sorte à augmenter son idéalité. Cette dernière est définie, dans TRIZ, comme le rapport des bénéfices qu'il procure sur les coûts et les nuisances qu'il engendre; lorsque l'idéalité tend vers l'infini, le système disparaît physiquement, tandis que la fonction qu'il remplit continue à être assurée. Par exemple, un système idéal :

- N'occuperait pas d'espace.
- Serait de masse nulle.
- Ne demanderait aucun effort à l'utilisateur.
- Ne demanderait aucune maintenance.

- Remplirait ses fonctions sans aucune nuisance.

3.6 Les algorithmes de résolution des problèmes

Se référant aux travaux d'Altshuller, TRIZ propose plusieurs modèles pour analyser et donner des solutions aux problèmes inventifs (Figure 3.9). Se référant aux travaux d'Altshuller, TRIZ propose plusieurs modèles pour analyser et donner des solutions aux problèmes inventifs (Figure 3.9). Dans leur application aux situations industrielles complexes, Lusseau et al (2010) évoquent deux difficultés :

- Il est souvent difficile de cerner précisément à quel niveau limiter l'analyse.
- Chaque modèle a son domaine de prédilection, et il n'est pas toujours évident de choisir le modèle le mieux adapté.

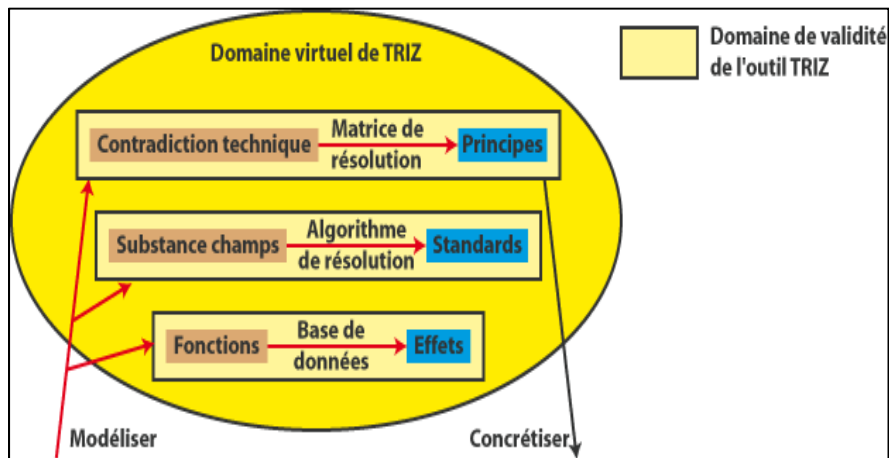


Figure 3.9 Résumé de la démarche et de quelques outils TRIZ.
Tirée de (Lusseau et Gendre, 2010)

Dans le but de surmonter les difficultés, Altshuller a mis au point ARIZ, un Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs. C'est une méthodologie industrielle détaillée basée sur les outils de TRIZ, visant à bien cerner le problème, à l'analyser de différentes façons, et à s'assurer de la viabilité des solutions obtenues. Différentes versions d'ARIZ ont été proposées, nous donnons sur la Figure 3.10 la version ARIZ 91.

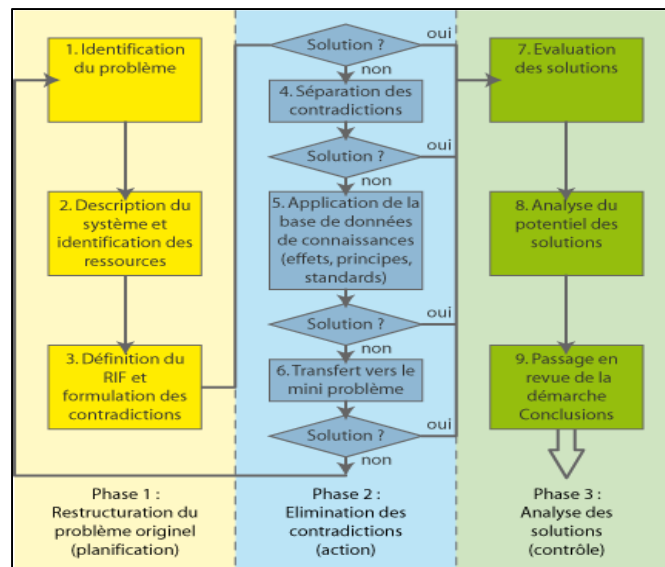


Figure 3.10 Algorithme ARIZ.
Tirée de (Lusseau et Gendre.L, 2010)

Ariz comporte neuf étapes, décomposées et ainsi résumées :

- Les trois premières étapes consistent à cerner le problème, à le modéliser.
- Les trois suivantes consistent à rechercher des voies de solution en mettant en œuvre, successivement les différents outils.
- Les trois dernières étapes consistent à vérifier l'idéalité de la solution obtenue.

Afin d'avoir un aperçu global sur les travaux d'accompagnement découlant de TRIZ, nous donnons sur le Tableau 3.1 une synthèse des principaux outils d'éco-innovation utilisés et compilés par Tyl (2011) . Il s'en suivra une description sommaire pour quelques cas.

Tableau 3.1 Synthèse des outils d'éco-innovation
Tirée de (Btyl, 2011)

| Outil d'éco-innovation | Apport principal de l'outil | | Intégration des dimensions | | Justification |
|---|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------|--|
| | Evaluation du problème | Aide à la génération d'idée | Environnementales | Sociétales | |
| Diagramme PIT (Jones et al., 2003) | | X (faible) | Approche produit | | L'outil aide avant tout à structurer la phase de génération d'idée mais n'aide pas le groupe à générer des concepts. |
| Eco-compass (Fussler et al., 1996) | X | | Approche produit | | La force de l'outil réside dans le diagramme d'évaluation qui permet de condenser les informations environnementales sur le système étudié. En phase de génération d'idée, il n'est proposé à l'utilisateur qu'un brainstorming sur chacun des axes du diagramme. |
| LIDS Wheel (Brezet, 1997) | X | | Approche produit | | La force de l'outil réside dans le diagramme d'évaluation. L'outil propose néanmoins des pistes de recherche de solutions sur chacun des axes du diagramme. |
| Ten golden rules (Luttrup et al., 2006) | | X (faible) | Approche produit | | La force de l'outil réside dans les règles d'éco-conception. L'outil ne propose aucune aide quant à l'exploitation de ses règles pour le système étudié. |
| Matrice eco-fonctionnelle (Lagerstedt, 2003) | X | | Approche produit/utilisateur | | Ces outils permettent de mettre en relation l'approche fonctionnelle d'un produit avec l'approche environnementale. En cela, ils permettent de sortir du cadre de la reconception de produit. |
| ecoQFD (Rahimi et al., 2002) | X | | Approche produit/utilisateur | | Néanmoins, cet outil permet d'identifier des couples de problèmes plutôt que la génération de solution. |
| Information-Inspiration (Lofthouse, 2004) | | X (faible) | Approche produit | | Cet outil est avant tout destiné à un public de designer qui souhaite naviguer librement entre des informations d'éco-conception et des exemples qui peuvent servir de stimulus. Il suit une logique d'éco-conception et propose des pistes de recherche de solutions qui restent générales. |
| TRIZ – Matrice de contradiction (Chen et al., 2001) | | X (forte) | Approche produit | | Cet outil permet de spécifier les principes innovants en relation avec le système étudié. En cela, il propose une aide forte à la stimulation. Néanmoins, les différents paramètres de la matrice sont très centrés sur une approche technique du produit. |
| TRIZ – Résultat idéal Final (Jones, 2003) | | X (faible) | Approche globale | X (selon l'utilisateur) | Cet outil permet d'imaginer un système qui remplit les fonctions tout en n'ayant aucun impact sur l'environnement. En cela, nous le positionnons comme un outil de génération d'idées. Néanmoins, cet outil seul n'offre qu'une aide faible en ne proposant pas de démarche claire pour atteindre ces solutions. |
| TRIZ – 9 écrans (O'Hare, 2010) | X | | Approche produit | X (selon l'utilisateur) | Cet outil permet de positionner le problème suivant les différentes phases de son cycle de vie. Il est donc avant tout un outil d'évaluation et ne permet pas de sortir du cadre du cycle de vie du système. |
| TRIZ – CBR (Yan et al., 2011) | X | X (forte) | Approche produit | | Cet outil se base avant tout sur la matrice de contradiction et le résultat idéal final. L'aide à la stimulation est donc forte mais axée sur le produit. |
| TRIZ – Loi d'évolution (Russo, 2008) | | X (faible) | Approche produit | | Cet outil se base sur les lois d'évolutions de TRIZ. Il permet donc la génération d'idées mais est trop général pour être considéré comme une forte aide à la stimulation. |
| TRI Z - Loi d'évolution et RIF (Chen, 2002) | | X | Approche processus | | Cet outil est destiné avant tout à des approches processus, telle la minimisation de production de déchets. Néanmoins, il permet par un jeu de questions dérivées des lois d'évolution de s'orienter rapidement et simplement vers des stratégies efficaces en vue d'une optimisation du processus. |
| TRIZ – LCP Planner (Kobayashi, 2006) | X | X (forte) | Approche produit | | Le processus propose un ensemble d'outils (QFD, Factor X, TRIZ) qui permettent d'évaluer le système puis générer des idées. La génération d'idées est basée sur les outils TRIZ (matrice de contradiction par exemple) et donc il propose une aide forte à la stimulation. |
| TRIZ – Eco-MAL'IN (Samet, 2010) | X | X (forte) | Approche produit | | Cet outil permet de bien évaluer le problème pour ensuite proposer des pistes de solutions et utiliser les outils TRIZ pour la recherche de solutions. En cela, il offre une forte aide à la stimulation. Néanmoins, tout comme les autres outils sur TRIZ, il est très axé sur une approche produit. |

L'objectif étant d'aider les concepteurs pour des démarches d'éco-innovation. Cette aide peut se traduire par la mise en place et l'utilisation de méthodologies et d'outils qui peuvent structurer une session d'innovations et les aider à générer ces concepts.

Il est intéressant de reprendre la classification de Robson qui a cherché à identifier trois méthodologies de recherche en conception (Robson, 1993).

On retrouve dans la thématique de l'éco-innovation ces trois types de méthodologies. Le Tableau 3.2, permet de voir les principales contributions et références du domaine.

Tableau 3.2 Principales contributions en démarches d'éco-innovation
Tirée de (Tyl, 2011)

| Type de contribution | Principales références |
|---------------------------------------|---|
| Conception à partir d'enquêtes | Lindahl, 2005, Lofthouse, 2005, Knight et Jenkins, 2009 |
| Conception à partir d'expérimentation | Jones, 2001, Lofthouse, 2005, Collado-Ruiz et Hesamedin, 2010 |
| Conception à partir de cas d'étude | Sherwin, 2000, O'Hare, 2010, Rocchi, 2005 |

L'intérêt de développer de tels outils réside dans la systématisation d'un processus qui oriente l'utilisateur vers un objectif bien défini (Lindahl, 2005).

Une des premières remarques en analysant la littérature est qu'il est relativement complexe de différencier clairement les outils orientés vers l'éco-innovation de ceux orientés vers l'écoconception. Ces derniers ont fait l'objet d'une large discussion au cours des chapitres précédents. Nous mettrons l'accent, au cours de ce chapitre aux outils orientés éco-innovation s'appuyant sur TRIZ.

3.7 TRIZ orientée éco-innovation

La méthode TRIZ est une méthode d'innovation, issue des travaux de G.A. Altsuller (2009), qui a pour objectif de systématiser la démarche de résolution de problème. Cette méthode TRIZ a été étudiée par de nombreux auteurs, et notamment sur sa pertinence dans l'approche d'éco-innovation.

Elle est perçue comme étant une méthode à haut potentiel en éco-innovation comparée aux méthodes d'éco-innovation préexistantes (Jones, 2003 ; Russo et Regazzoni, 2008).

Une première série de recherches a permis d'évaluer la pertinence des paramètres de la matrice de TRIZ et des principes de cette matrice avec des critères environnementaux. Jones a en effet comparé les paramètres de la matrice TRIZ avec les axes d'Eco-compass dans le but de rechercher si ces différents paramètres recouvraient les notions clés de l'éco-innovation (Jones, 2003).

Cette étude a souligné que 3 des 6 axes de Eco-compass (*Human and Environmental risk, Ressource conservation et Reuse and revalorization*) ne sont que faiblement représentés dans les paramètres de la matrice, et montre la nécessité de faire évoluer ces paramètres pour l'éco-innovation.

À l'inverse, Chen a identifié des solutions éco-innovantes pour chacun des principes de TRIZ (Chen, 2003) tandis que Fresner a noté de nombreuses similarités entre les stratégies de production responsable et les 8 lois d'évolution de TRIZ (Fresner et al., 2010).

Outre ces travaux préliminaires, les travaux d'adaptation de TRIZ en outil d'éco-innovation peuvent se décomposer selon trois « types » :

- Les travaux spécifiques sur un outil de TRIZ en particulier ; ainsi, nous pouvons citer les travaux de Chen sur la matrice de contradiction (Chen and al, 2001) ou encore ceux de Russo sur les lois d'évolution (Russo et Regazzoni, 2008).
- Les travaux de simplification de la méthode (Jones, 2003).
- Les travaux sur une méthodologie générale d'éco-innovation basée sur TRIZ (Kobayashi, 2006 ; Samet, 2010; Yang et al., 2011).

Les principaux travaux issus de TRIZ sont résumés sur le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 Démarches d'éco-innovation à partir de TRIZ
Tirée de (Btyl, 2011)

| TRIZ en éco-innovation | Référence |
|---------------------------------|---|
| Travail sur les outils TRIZ | <ul style="list-style-type: none"> - Matrice de contradiction (Chen et Liu, 2001) - Lois d'évolution (Russo, 2008) - Loi d'évolution couplée avec le Résultat Idéal Final (Fresner et al., 2010) - 9 écrans (O'Hare, 2010) - Résultat Idéal Final (Chen, 2002) |
| Simplification de TRIZ | <ul style="list-style-type: none"> - Résultat Idéal Final, Contradictions techniques, Contradictions physiques, (Jones, 2003) |
| Méthode générale utilisant TRIZ | <ul style="list-style-type: none"> - Eco Malin (Samet, 2010) - LCP Planner (Kobayashi, 2006) - TRIZ et le CBR (Yang et al. 2011) - TRIZ et les PSS (Law et al., 2000) |

Les principaux résultats de ces recherches sur TRIZ et l'éco-innovation sont repris ci-après :

3.7.1 Matrice de contradiction de TRIZ

Les travaux de Chen et Liu (2001) se sont focalisés sur la matrice de contradiction de TRIZ. Les auteurs ont cherché dans un premier temps à mettre en place un tableau de correspondance entre les 7 principes d'éco-efficience par le WBCSD (*World Business Council For Sustainable Development*) décrits sur la Figure 3.11 et les paramètres de la matrice TRIZ.

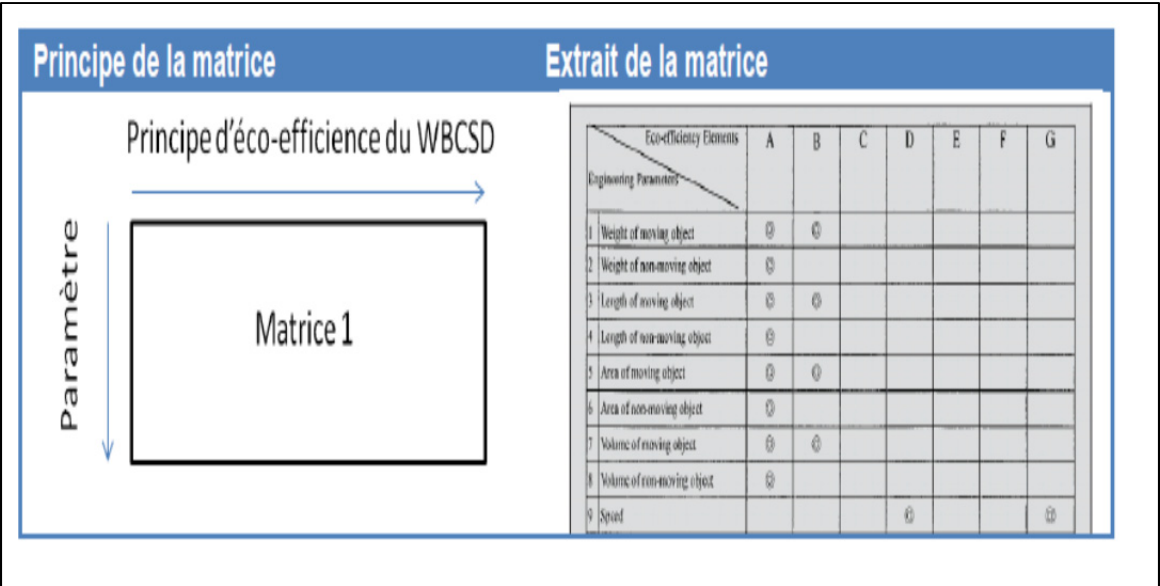


Figure 3.11 Matrice de corrélation entre principes du WBCSD et les paramètres TRIZ.
Tirée de (Tyl, 2011)

3.7.2 Loi d'évolution

Les lois d'évolution ont été étudiées dans une logique d'éco-innovation. Russo (2008) a ainsi travaillé sur une adaptation des lois d'évolution de TRIZ pour développer un nouveau guideline d'éco-innovation. Bien que cet outil ne soit resté qu'en l'état de concept, l'auteur a comparé théoriquement ce *guideline* issu de TRIZ avec d'autres outils d'éco-innovation, et en a conclu à la pertinence de cet outil.

Si cette démarche paraît donc extrêmement pertinente, elle n'est pas forcément adaptée à l'éco-innovation. Russo (2008) fait remarquer lui-même que des notions essentielles en éco-innovation, telles que la durée de vie du produit, n'apparaissent pas évidentes dans les lois d'évolution, restant alors au second plan.

Suivant cette même logique, Fresner (2010) a développé une méthodologie d'éco-innovation en comparant les principes généraux de production durable avec les lois d'évolution. Cette méthodologie est avant tout destinée aux systèmes de production, comme, par exemple, la minimisation des déchets. Elle se fonde sur des éléments de TRIZ, notamment les lois d'évolution, mais s'inspire également du principe du résultat idéal final (RFI).

Elle consiste tout d'abord à réaliser une analyse fonctionnelle du processus, reprenant l'ensemble des éléments tels les matériaux, les émissions ou encore les consommations.

3.7.3 Les 9 écrans

Comme nous l'avons vu préalablement dans la description de son étude, O'Hare (2010) a travaillé notamment sur un ensemble d'outils dont une adaptation des 9 écrans de TRIZ. Cet outil, présenté dans la figure ci-dessous permet d'aider à sortir du cadre d'étude et d'envisager de nouvelles perspectives dans le temps et l'espace.

O'Hare propose quant à lui une adaptation de cet outil pour y incorporer les principes d'éco-innovation et en particulier la notion de cycle de vie (Figure 3.12).

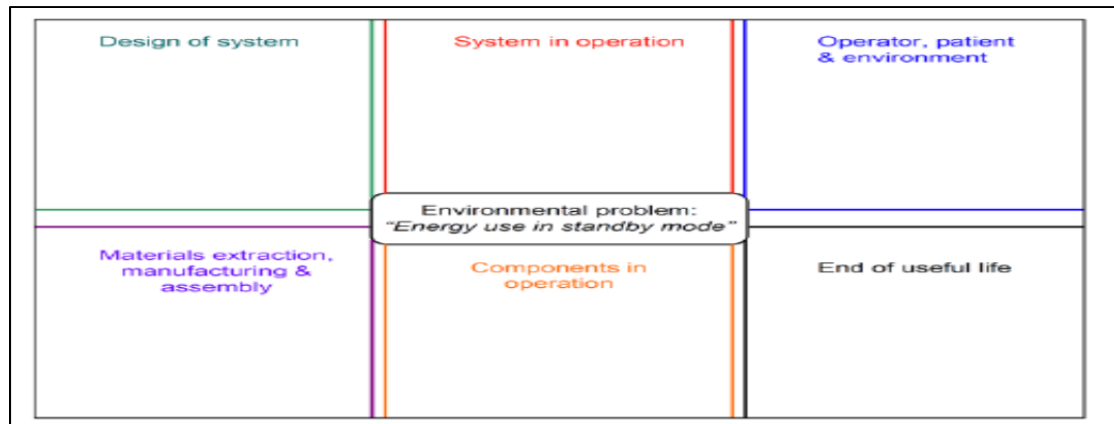


Figure 3.12 Adaptation des 9 écrans pour l'éco-innovation.
Tirée de (Tyl, 2011)

Ainsi, au lieu de proposer une réflexion sur un axe temporel et un axe systématique, les neufs écrans adaptés pour l'éco-innovation se décomposent en 6 cases :

- *Materials extraction, manufacturing & assembly.*
- *Design of system.*
- *System in operation.*
- *Components in operation.*
- *User and operating environment.*
- *End of useful life.*

3.7.4 TRIZ et le CBR (ou Case Based Reasoning)

L'approche CBR consiste à s'inspirer de cas similaires pour résoudre des problèmes actuels. L'approche CBR reprend donc le comportement humain qui utilise ses expériences passées pour résoudre ses problèmes. Pour ce faire, l'approche CBR utilise une base de données pour regrouper l'ensemble des études précédentes. Ainsi, Yang (2001) considère que cette méthode permet de dépasser l'optimisation du produit pour au contraire proposer de nouveaux modèles permettant de générer des concepts éco-innovants.

L'approche reprend donc différents outils : CBR – Matrice de contradiction – Résultat idéal Final et enfin les principes du WBCSD. Cette approche consiste dès lors, et avant tout, à intégrer différentes travaux, comme ceux de Chen sur la matrice de contradiction en éco-innovation, ou encore le principe de résultat idéal final.

Les travaux de Yang ont consisté à intégrer les outils TRIZ avec l'approche CBR (*Case Based Reasoning*) dans le but de favoriser la génération de concepts d'éco-innovation.

Ces travaux sont donc intéressants car ils proposent une méthode complète. Il ne s'agit pas d'adaptation spécifique de l'approche CBR et de TRIZ, mais plutôt d'une suite logique entre divers outils, montrant ainsi l'intérêt de combiner différents outils.

En reprenant les travaux de Chen sur la matrice, cette méthodologie en reprend donc les limites pour l'éco-innovation, telle une approche technique du produit.

3.7.5 TRIZ et Eco-MAL'IN

Afin d'assister le concepteur dans les phases préliminaires de conception, une approche environnementale globale et simplifiée est mise en œuvre. Ainsi la matrice de contradiction de TRIZ peut être exploitée lors de la formalisation du problème Il a été retenu les phases du cycle de vie du produit, d'une part et les paramètres ou axes d'éco-efficacité, d'autre part et données ci-dessous (Samet, 2010) :

1^{er} axe d'écocoefficacité : la consommation de matériaux

La première action implique la réduction, la restriction et l'élimination de composants et de composants d'interaction de l'ensemble produit. Elle agit sur les matériaux et diminue naturellement l'extraction de matières premières.

La conception du produit doit permettre d'éviter, lors de l'utilisation, de contribuer à la pollution et aux pertes de matière par l'utilisation de composants non perdables, par la réduction des consommables et par la maîtrise des rejets. L'ensemble du cycle de vie impacté est représenté sur le Tableau 3.4.

Tableau 3.4 Recommandations pour la consommation de matériaux
Tirée de (Samet, 2010)

| Cycle de vie impactée | Leviers et actions à réaliser |
|------------------------------|--|
| Extraction MP | Réduire le nombre, la masse, le volume des composants, des composants d'interaction du produit |
| Fabrication | Conception optimisée de l'ensemble produit pour réduire, éliminer les chutes de fabrication |
| Transport | Transport optimisé, éviter les déplacements à vide pour minimiser les rejets lors de la distribution |
| Utilisation | Réduire, éliminer, réutiliser les rejets du produit, minimisation utilisation de consommable |
| Fin de vie | Favoriser les produits recyclés, recyclables, biodégradables |

2^{ème} axe d'éco-efficacité : réduction de la consommation énergétique

Dans la situation de vie utilisation, les actions à réaliser en conception sont classées selon la pertinence d'analyse des flux d'énergie. L'évolution de ces flux d'énergie est liée aux champs entre les composants. Ces champs doivent aller des champs matériels aux champs immatériels et tendre vers une meilleure contrôlabilité (Nadeau et al, 2005).

On doit concevoir les systèmes afin qu'ils stockent les matières énergétiques qui ne sont plus utilisées.

L'ensemble du cycle de vie impacté est représenté sur le Tableau 3.5.

Tableau 3.5 Recommandations pour la consommation énergétique en fonction du cycle de vie .
Tirée de (Samet, 2010)

| Cycle de vie impacté | Leviers et actions à réaliser |
|-----------------------------|---|
| Utilisation | Améliorer l'agencement des composants, substituer des champs, réduire les interactions entre les composés pour réduire les pertes énergétiques, réutilisation des énergies perdues lors du fonctionnement |
| Fin de vie | Récupération des énergies accumulées |

3^{ème} axe d'écocoefficacité : réduction des rejets

La conception doit permettre d'éviter les risques de toxicité lors de l'industrialisation en éliminant la possibilité de rejet ou d'interférence.

Il s'agit aussi d'assurer un ensemble produit stable lors de la distribution et bien sûr de l'utilisation.

L'ensemble du cycle de vie impacté est représenté sur le Tableau 3.6.

Tableau 3.6 Recommandations pour les rejets en fonction
du cycle de vie
Tirée de (Samet, 2010)

| Cycle de vie impacté | Leviers et actions à réaliser |
|-----------------------------|--|
| Fabrication | Éliminer tous les rejets toxiques ou non liés à la fabrication du produit |
| Transport | Contrôler tous les flux de matériaux et énergie toxiques |
| Utilisation | Éliminer tous les matériaux interdits, éliminer tous les flux toxiques générés par l'utilisation du produit, et permettre leur contrôlabilité. |
| Fin de vie | Identifier et localiser tous les rejets toxiques afin de les récupérer |

L'ensemble des trente-neuf actions à réaliser défini par la matrice Eco-MAL'IN apportent une vision parcimonieuse de l'interaction environnement/produit. Cette matrice est construite d'une part, selon une vision simplifiée de la vision écoconception et d'autre part, une vision simplifiée l'approche globale d'analyse du produit. La Figure 3.13 illustre la construction de la vision parcimonieuse de l'interaction environnement/produit.

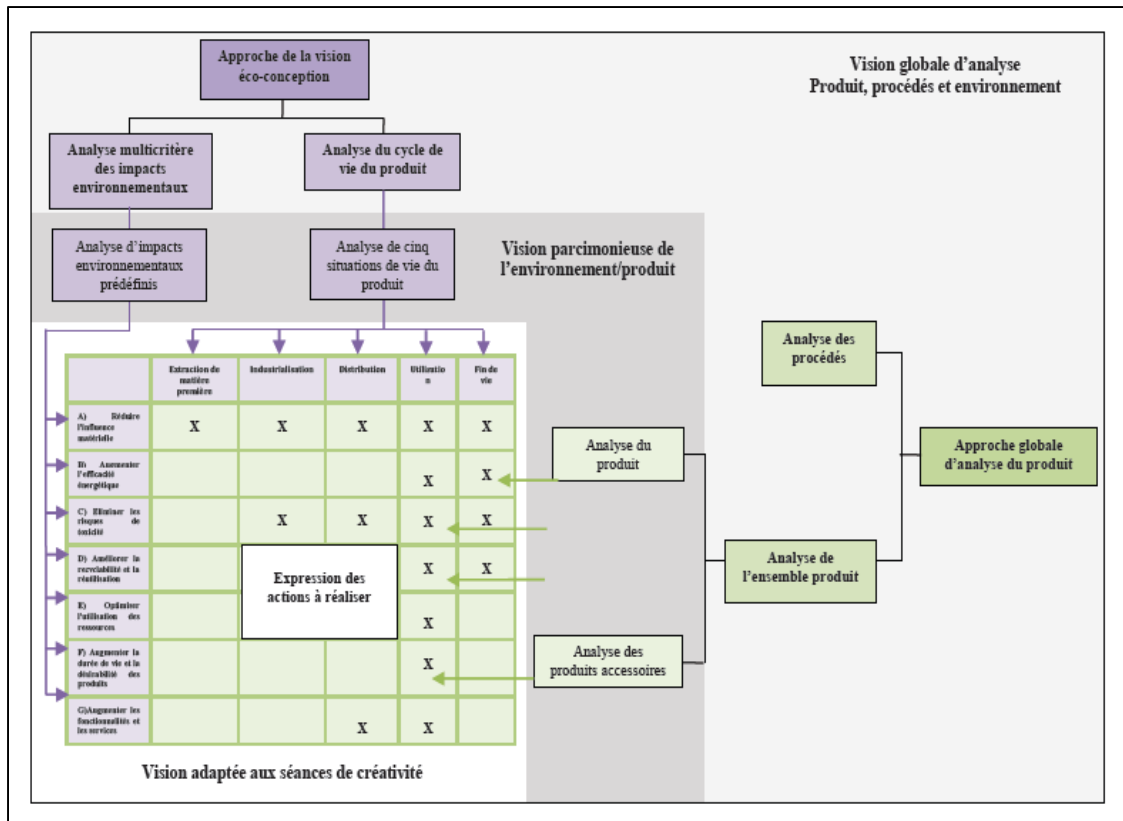


Figure 3.13 Analyse produit, procédé et environnement.
Tirée de (Samet, 2010)

La méthodologie nouvelle proposée dans Eco-MAL'IN, est composée de cinq étapes : une phase de pré-analyse, une phase d'analyse et de structuration du problème, une phase de formalisation, une phase de résolution du problème et une phase pour le choix de concept. La Figure 3.14 présente le détail de la méthode « Eco-MAL'IN » avec les outils mis en place.

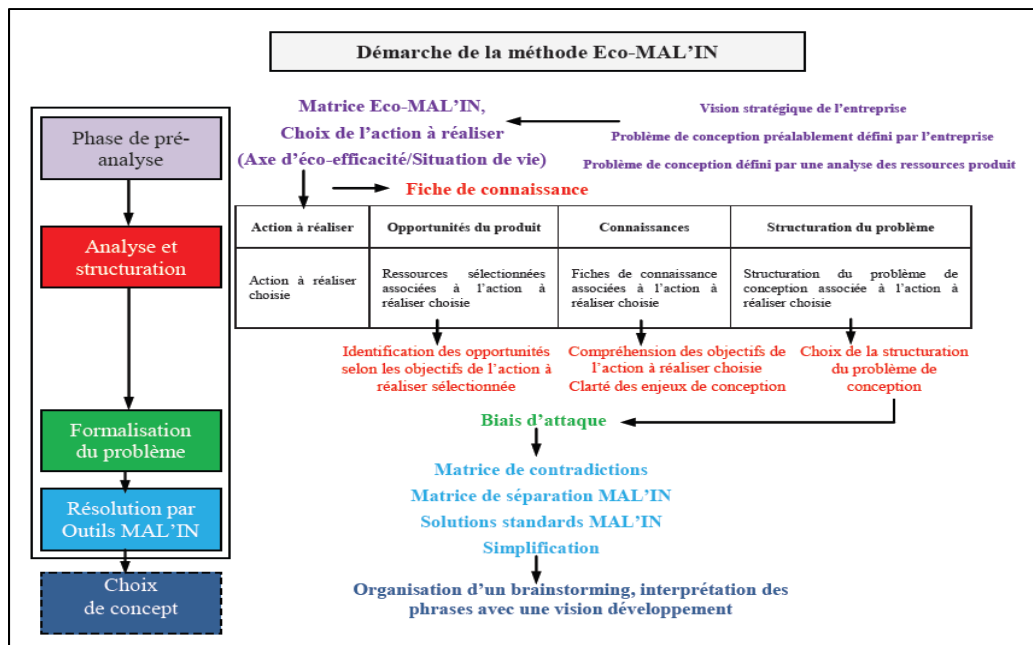


Figure 3.14 Démarche de la méthode Éco'Malin
Tirée de (Btyl, 2011).

3.8 Méthode ASIT et adaptation vers un outil d'éco-innovation EcoASIT

La portée essentielle de la méthode ASIT est de proposer une génération d'idées faciles à travers des systèmes de reconfiguration du système simple (Reich et al., 2010). Tyl (2011) remarque que cet outil propose une réflexion pertinente pour le domaine de l'éco-innovation. Pour Tyl (2011), les dispositions initiales pour l'éco-innovation sont :

- 1- ASIT est avant un outil de résolution de problème qui cherche à faire converger la réflexion, (au contraire d'outil d'aide à la divergence).
- 2- L'une des conditions suffisantes pour l'obtention de solutions innovantes est celle du « monde clos » qui consiste à atteindre l'objectif désiré à l'aide des seuls objets déjà présents dans le monde du problème ou dans son milieu environnant. Contrairement à la vision des outils de créativité qui cherchent plutôt à sortir du cadre, cette condition paraît pertinente pour des problématiques d'éco-innovation, car elle fait référence à un monde de ressources finies et limitées, dans lequel doivent être conçus les systèmes sans addition de ressources supplémentaires (Turner, 2009).

Tyl (2011) a adapté l'outil initial de créativité ASIT en utilisant les principes d'éco-innovation que sont la notion de cycle de vie, l'approche systémique, et la stimulation sur les différents axes du développement durable.

Les deux premières approches ont nécessité une transformation de l'outil ASIT en un outil d'éco-innovation, après intégration de divers outils « périphériques » comme la matrice type QFD, ou encore le diagramme d'évaluation, et en modifiant le processus de ASIT.

Synthèse

L'analyse de l'ensemble de ces travaux nous permet d'élaborer des premières conclusions sur l'utilisation de TRIZ en éco-innovation.

En dépit des travaux réalisés dans leur ensemble, certains des outils développés paraissent peu pertinents eu égard aux problématiques que pose l'éco-innovation. Si les travaux de Low montrent qu'il est envisageable de travailler sur des systèmes autres que le produit (Low et al., 2000), TRIZ doit être adapté dans le but de passer d'une méthodologie issue d'un contexte purement technologique, à un contexte orienté sur une diversité d'applications (produit, service, usage...).

De plus, l'étude de ces outils ne démontre pas clairement et scientifiquement l'avantage de l'adaptation de ces outils pour l'éco-innovation, vis-à-vis des outils originaux.

Les différents cas d'études présentent une forte incertitude et ne peuvent pas être applicables à toutes les entreprises. La culture et les moyens de ces dernières peuvent influencer d'une manière conséquente sur l'appropriation de ces outils.

Les travaux sur le développement d'outils d'éco-innovation nous paraissent incomplets, tant que la culture d'appropriation et d'utilisation ne suivent pas.

Beaucoup d'outils d'éco-innovation se focalisent sur les phases de génération d'idées et intégrant les différentes approches du développement durable. Suite au positionnement général de nos travaux et l'état de l'art proposé dans ce chapitre, nous pouvons désormais introduire notre problématique de recherche dans le domaine de l'éco-innovation. C'est l'objet de discussions dans les chapitres suivants.

CHAPITRE 4

MÉTHODOLOGIE

Dans les chapitres précédents, nous avons mis en évidence les difficultés d'introduction et d'appropriation des outils d'écoconception au sein des entreprises, notamment les PME. Ce constat nous amène à réfléchir sur la nécessité de proposer un outil qui soit d'un niveau de non expert, avec une pratique reconnue acceptable. Le but étant de choisir un outil qui va servir de support à notre démarche, ne demandant pas beaucoup de données (qualitatif), de validité scientifique acceptable (évaluation multicritère et tout au long du cycle de vie) et qu'il ne soit pas du niveau d'un expert.

Cette partie va nous permettre de préciser les apports de ce travail pour proposer une démarche méthodologique.

Les difficultés pour faire une évaluation quantitative des impacts environnementaux au niveau des entreprises sont de nos jours connues : l'absence des données, leur fluctuation ou la difficulté de les recueillir ainsi que le temps nécessaire au traitement et le niveau d'expertise sont autant de raisons qui font que l'entreprise est vite bloquée, d'où son manque d'encouragement pour une appropriation des outils d'écoconception.

Afin de permettre une meilleure intégration de ces outils, nous aurons à aborder au cours de cette partie la démarche que nous avons entreprise. Les différentes étapes de notre approche méthodologique seront présentées. Nous avons, dans un premier temps, procédé à un classement de tous les outils existants (Chapitre 2).

Cette méthodologie nous permettra de faire le choix sur l'outil d'évaluation le plus approprié pour notre problématique de recherche.

Comme l'évaluation environnementale ne fournit pas directement de solutions aux concepteurs, alors il faudra dès lors traduire les résultats d'évaluation en axes de conception. Mais en général Les axes proposés sont incompatibles ou contradictoires, de sorte qu'il faut rechercher un compromis pour donner la solution. Or le problème qui peut être posé en réalité industrielle ne doit pas être résolu par compromis. De ce fait, nous allons tester une méthode qui a fait ses preuves dans d'autres domaines pour trouver une solution qui éviterait le compromis.

La méthode TRIZ sera déployée et approfondira la réflexion chez le concepteur sur les phases qui ont le plus d'impacts et les critères environnementaux déjà hiérarchisés au cours de la première étape. Aux facteurs environnementaux habituels, nous allons incorporer deux facteurs pas des moindres par rapport à l'utilisateur :

- Les paramètres d'utilisation qui renforcent l'appréciation du produit.
- L'appropriation de l'écoconception.

4.1 Méthodologie de recherche

Notre méthodologie de recherche est basée sur la volonté de répondre aux problématiques posées (Figure 4.1) et qui sont les objectifs visés par cette recherche.

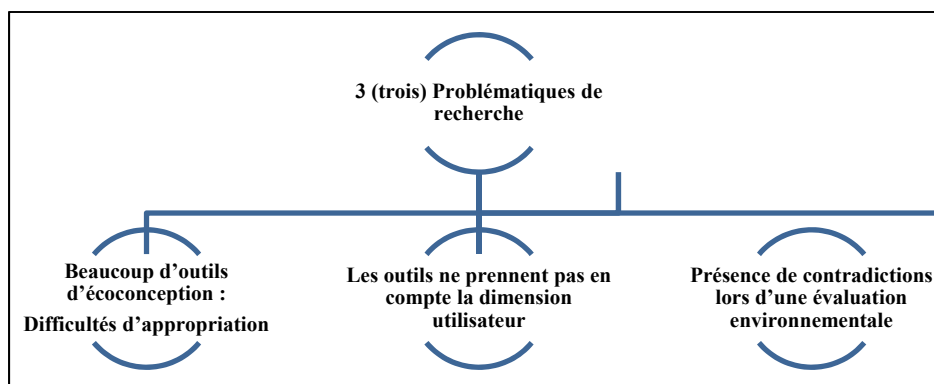


Figure 4.1 Les problématiques de recherche recensées.

À partir d'une étude préliminaire utilisant une matrice simplifiée d'évaluation des impacts d'un produit ou d'un système, notre but est de mettre en place une démarche innovante s'appuyant sur TRIZ qui va aider la conception lors du processus d'idéation. La démarche globale est donnée à la Figure 4.2.

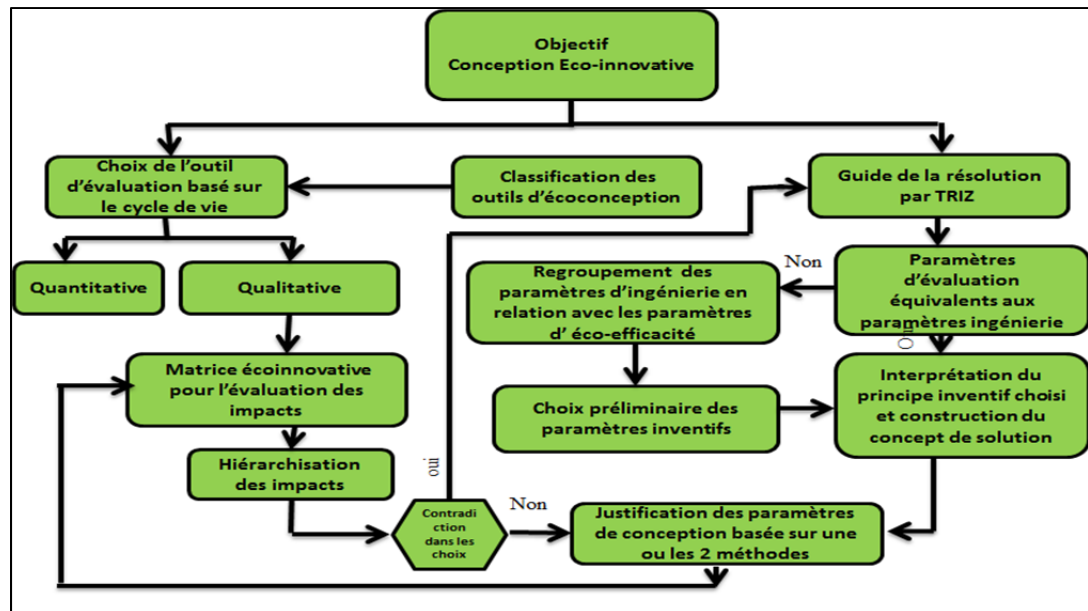


Figure 4.2 Démarche du processus éco-innovant.

Dans une première phase et pour un objectif de conception éco-innovante, une matrice qualitative multicritère et globale permettra une hiérarchisation des impacts environnementaux. A partir de ces données, le concepteur orientera ses choix. Dans le cas où les axes de conception ne sont pas contradictoires, les paramètres à mettre en place sont justifiés.

Dans le cas où des contradictions existent, le concepteur orientera sa démarche vers la résolution du conflit par utilisation d'une nouvelle matrice que nous appellerons EcaTriz ou matrice résultante, qui va prendre en charge la problématique sans compromis. La construction du concept de solution peut alors être bâtie à partir de l'orientation des principes inventifs donnés par la matrice.

La Figure 4.3 donne le détail de la démarche suivie.

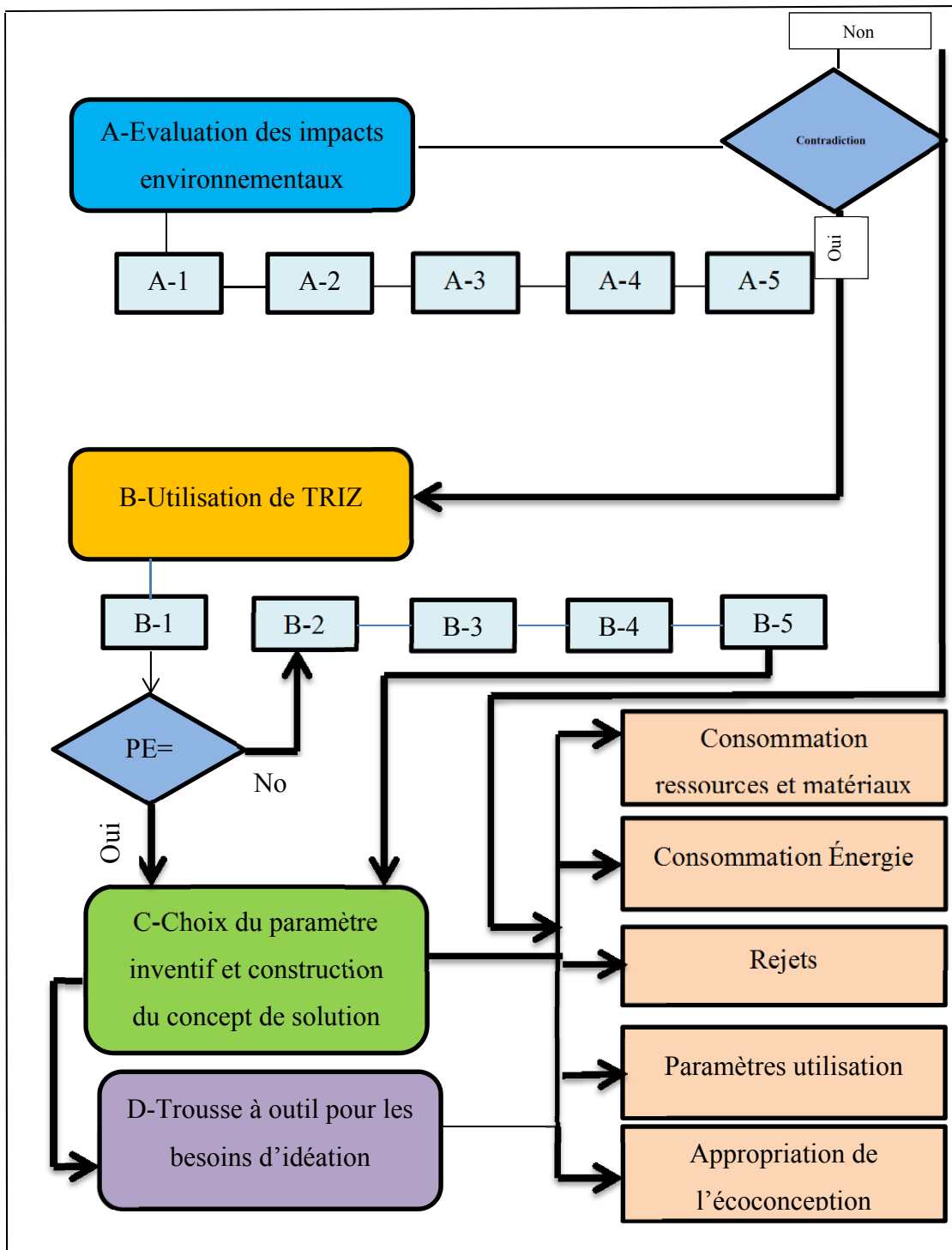


Figure 4.3 La démarche méthodologique détaillée.

Nous donnons, ci-dessous les étapes ainsi que la légende utilisée.

A : Évaluation des paramètres environnementaux

A-1: Choix des paramètres d'éco-efficience ou d'évaluation.

- Consommation de matériaux
- Consommation d'énergie
- Rejets générés
- Paramètres d'utilisation
- Appropriation de l'écoconception

A-2 : Construction d'une matrice simplifiée mais multicritère et globale (cycle de vie).

- Matrice 5X5 multi-critère (tenant compte des paramètres d'éco-efficience) et globale (Prise en charge de toutes les étapes du cycle de vie).

A-3 : Pondération et évaluation suite à un questionnaire préétabli.

- Une note de 0 à 5 (0 étant la situation qui a le moins d'impact) est attribuée à chaque cellule suite à un questionnaire préétabli.

A-4 : Hiérarchisation des impacts.

- Tracé d'un histogramme facilitant la lecture des résultats de l'évaluation

A-5 : Choix des axes d'intervention et traduction des résultats d'évaluation en axes de conception.

B : Utilisation de TRIZ

B-1 : Choix des paramètres d'évaluation.

B-2 : Analogie entre les paramètres d'évaluation et les paramètres d'ingénierie.

B-3 : Construction d'une nouvelle matrice à partir de celle d'Alstuhller.

B-4 : Recherche des paramètres inventifs en relation avec la situation à régler.

C : Choix du paramètre inventif

D : Trousse à outil pour les besoins d'idéation

4.2 Les étapes de la démarche méthodologique

La première phase de notre démarche est une revue de tous les outils développés en écoconception. Nous avons jugé nécessaire de les partager selon deux critères : un,

d'évaluation et l'autre de préconisation ou interprétation des résultats pour la réduction des impacts.

Parmi les outils d'évaluation, nous avons choisi de travailler avec une matrice qualitative avec une analyse globale et multicritère. Ceci étant justifié par la facilité d'appropriation par l'utilisateur puisqu'elle ne demande pas de données ou évolutifs ou dont la qualité est souvent source d'incertitude sur le résultat final. Elle est basée sur une matrice simple d'utilisation, incluant des paramètres non moins importants liés aux paramètres d'utilisation du produit et de préparation organisationnelle pour l'appropriation de la démarche d'écoconception, en plus des facteurs d'éco-efficience habituels. Cet outil permet enfin de hiérarchiser les impacts.

Afin d'aider le concepteur à prendre une décision, la méthode TRIZ a été proposée. Cette théorie qui a fait ses preuves en technologie va être adaptée en écologie. Cette façon de procéder pourra aider le concepteur et l'encourager à choisir une démarche et atteindre un niveau d'écoconception à la hauteur des moyens dont elle dispose avec une phase d'idéation qui va orienter le concepteur vers une solution éco-innovante.

Le développement de cette étape de notre méthodologie de génération d'idées pour l'éco-innovation va être abordé dans les paragraphes suivants, dans le cadre du traitement de la démarche globale suivie. Le choix de la démarche à appliquer pour répondre à notre question de recherche, notamment en lien avec la possibilité de contradictions lors des choix de conception, repose sur la procédure de classification adoptée dans le chapitre précédent et tenant compte de la facilité d'appropriation : nous allons nous situer sur l'échelle entre la matrice d'évaluation et la génération d'idées pour les solutions.

L'évaluation environnementale ne fournit pas directement de solutions aux concepteurs, alors il faudra dès lors traduire les résultats d'évaluation en axes de conception mais en général ces

axes proposés sont incompatibles ou contradictoires de sorte qu'on trouve un compromis pour donner la solution.

Le problème posé en réalité industrielle ne doit pas passer par un compromis pour la solution. Dans le domaine TRIZ il sera reformulé et passera par la matrice de contradiction puis interviendront les principes de résolutions avec interprétation pour donner les pistes de solutions

Nous voulions éviter justement ce compromis en appliquant la méthode TRIZ qui a fait ses preuves dans d'autres domaines. TRIZ se base sur la similitude qui peut exister entre un problème inventif et un problème similaire résolu dans un autre contexte et dont la solution peut s'y rapporter. La Matrice TRIZ est une base de données de solutions (principes) pouvant surmonter des contradictions.

Les bases de données de brevets sont donc une excellente source d'inspiration pour résoudre des problèmes, à condition de savoir où et comment chercher.

Au cours de ce chapitre et afin d'améliorer la créativité dans la phase de conception préliminaire, nous avons axé notre travail sur la recherche d'une méthodologie d'aide à la génération de solutions éco-innovantes et dont la démarche sera détaillée dans ce qui va suivre. La procédure se déroulera en 3 étapes :

- 1- Proposition d'une matrice d'évaluation qualitative.
- 2- Analyse du produit : profil environnemental.
- 3- Choix des règles importantes pour améliorer le produit.

4.3 Proposition d'une matrice d'évaluation qualitative

Les effets environnementaux de la conception du produit tout au long de son cycle de vie peuvent être évalués par utilisation d'une matrice, basée sur une réponse à des questions

rédigées de manière suffisamment générale pour s'appliquer à une très large gamme de produits. L'avantage d'une telle matrice est :

- La facilité d'utilisation et d'appropriation.
- La prise en compte de toutes les préoccupations environnementales (multicritère) tout le long du cycle de vie du produit (global).
- Ne nécessite pas de données puisque l'évaluation est qualitative.
- Mise en évidence du facteur d'impact ou de l'étape qui a le plus d'impact sur lesquelles le fabricant peut intervenir.
- Introduction de nouveaux facteurs d'éco-efficience, notamment la perception du produit auprès de l'utilisateur et le niveau d'appropriation de l'écoconception au niveau des entreprises.

L'exploitation de cette matrice permettra de déterminer un profil environnemental du produit à partir d'une série de questions en rapport avec le cycle de vie du produit. L'évaluation des impacts est faite à chaque étape du cycle de vie du produit.

Le principe est le suivant : Il s'agit d'une matrice carrée (5X5) qui englobant en vertical les étapes du cycle de vie du produit (préfabrication, fabrication, transport et emballage, utilisation, fin de vie) et horizontalement les sources d'impacts environnementaux (Tableau 4.2).

Chaque élément de la matrice est présenté sous forme d'un score (de 0 à 5, 5 étant la meilleure situation). Cette évaluation peut être faite, suite à la réponse donnée pour chacune des questions de la case (l'Annexe 1 reprend plusieurs types de questions pour chaque rubrique, cependant et afin que le concepteur l'adapte au cas de son produit, il faudra choisir une question et l'encrer pour sa prise en considération).

La première ligne de la matrice est sous forme de données en lien à des situations organisationnelle et stratégique par rapport aux questions environnementales (Tableau 4.1) :

Tableau 4.1 Exemple de pondération adoptée selon la réponse aux questions

| Pourcentage (%) | Nombre de points |
|------------------------|-------------------------|
| 0 ou inconnue | 0 |
| 0-10 | 2 |
| 11-25 | 3 |
| 26-50 | 4 |
| Sup 50 | 5 |

- Les questions de la ligne 1 sont non obligatoires et peuvent être prises en considération par les concepteurs d'entreprises dont la phase de préfabrication du produit dépend d'une phase amont.
- Les questions de la ligne 2 sont relatives à l'étape de production.
- Les questions de la ligne 3 sont relatives à l'étape de transport et d'emballage.
- Les questions de la ligne 4 sont relatives à l'utilisation du produit.
- Les questions de la ligne 5 sont relatives à la fin de vie du produit.

A chaque ligne correspondent des paramètres environnementaux à considérer et pour lesquels un certain nombre de questions pertinentes sont posées.

L'évaluation du système sur ces 5 axes permet donc de formaliser le problème et d'identifier un objectif, sans laisser trop d'effort dans la formalisation du problème, mais plutôt donner la priorité dans la génération d'idées. En annexe, nous détaillons les questions de la matrice. Nous donnons quelques exemples ci-dessous.

Ligne 1-1 : Préfabrication-Matériaux

- Question relative à la politique de management environnemental de l'entreprise qui fournit les matériaux (encercler une réponse)

Ligne 1-2 : Préfabrication-Énergie

- Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent l'énergie pour la fabrication du produit et qui ont des pratiques environnementales de conservation de l'énergie?

Ligne 1-3: Préfabrication-Rejets

- Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent des éléments constitutifs du produit et qui répondent aux normes ISO 9000 et ISO 14000 et qui ont un programme ferme de respect de la minimisation des émissions dans l'air, dans le sol et conservation de l'eau.

Ligne 1-4: Préfabrication-Paramètres d'usage

- Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent des éléments constitutifs du produit et qui respectent les paramètres d'utilisation?

En résumé les facteurs à considérer sont les matériaux, l'énergie, les rejets (liquides, gazeux et solides). Deux autres nouveaux que nous aurons à introduire pour la première fois sont les paramètres d'utilisation et le degré d'appropriation de l'écoconception par l'entreprise. Un diagramme en 5 axes, permet d'identifier et de hiérarchiser les impacts environnementaux et sociaux du produit.

Tableau 4.2 Présentation de la matrice globale et multicritère

| Cycle de vie | Matériaux | Énergie | Rejets | Paramètres d'utilisation | Appropriation de l'écoconception |
|-------------------------------|------------------|----------------|---------------|---------------------------------|---|
| Prétraitement | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 |
| Fabrication | 2-1 | 2-2 | 2-3 | 2-4 | 2-5 |
| Transport et emballage | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 |
| Utilisation | 4-1 | 4-2 | 4-3 | 4-4 | 4-5 |
| Fin de vie | 5-1 | 5-2 | 5-3 | 5-4 | 5-5 |
| | | | | | |

4.4 Analyse du produit : profil environnemental

Notre but est de rechercher un profil environnemental qui va aider à orienter le concepteur vers la solution au problème d'impact négatif à améliorer.

Les résultats de la hiérarchisation des thèmes environnementaux seront exprimés sous forme d'un histogramme sur une échelle de 0 à 5. Cette hiérarchisation correspondra à l'évaluation environnementale du produit.

Nous avons regroupé certains facteurs donnés par le WBSCD et avons considéré les matériaux, l'énergie, les rejets (liquides, gazeux et solides). Deux autres nouveaux paramètres, que nous aurons à introduire pour la première fois sont relatifs à l'utilisation (Forme, stabilité, résistance, facilité d'utilisation Etc...) et au degré d'appropriation de l'écoconception par le concepteur ou l'utilisateur en général (Figure 4.4).

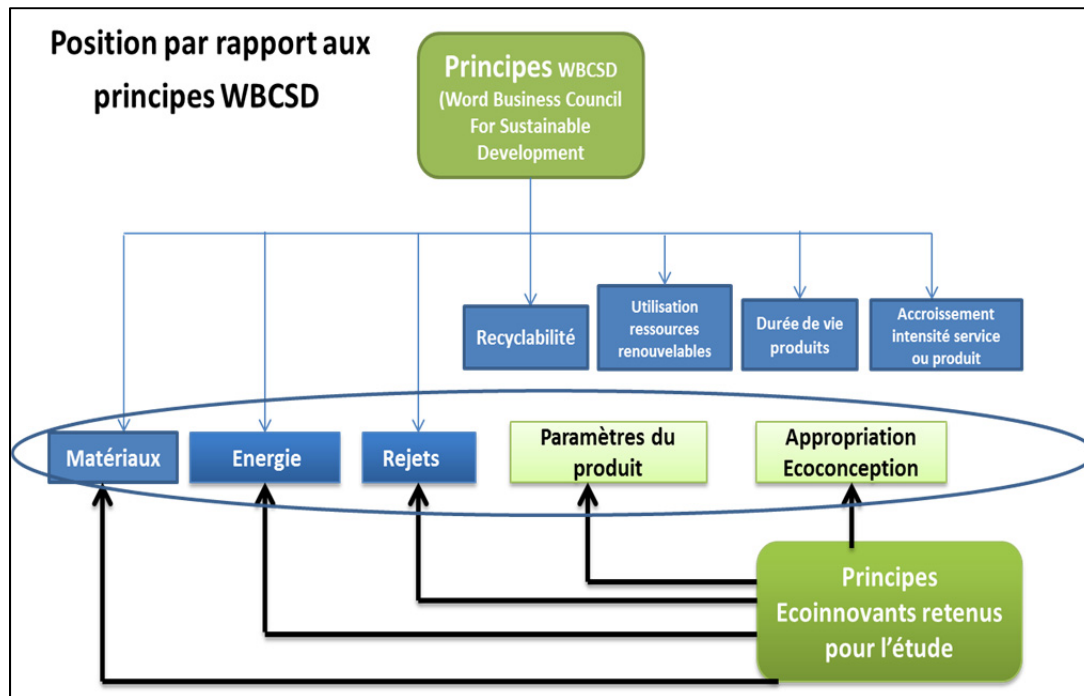


Figure 4.4 Position des facteurs d'éco-efficacité retenus pour l'étude par rapport aux principes WBSCD.

Les 7 principes d'éco-efficacité par le WBSCD (*Word Business Council For Sustainable Development*) sont décrits ci-dessous :

- La réduction de la demande de matériaux pour les produits et services.
- La réduction de l'intensité énergétique des produits et services.
- La réduction de la dispersion des substances toxiques.
- L'amélioration de la recyclabilité des matériaux.
- L'optimisation de l'utilisation durable des ressources renouvelables.
- L'accroissement de la durée de vie des produits.
- L'accroissement de l'intensité de service des produits et services.

Le présent travail a pour but de rechercher la meilleure démarche à mettre à la disposition des utilisateurs, à travers un outil facile d'appropriation.

Les effets environnementaux de la conception du produit tout au long de son cycle de vie peuvent être évalués et hiérarchisés selon une nouvelle démarche des paramètres d'éco-efficience : les trois premiers paramètres (réduction de matériaux et de ressources, énergie et dispersion des substances toxiques) sont maintenus, les trois paramètres suivants sont pris en charge dans la nouvelle matrice par les questions relatives à la fin de vie du produit. Notons que le cinquième (utilisation durable des ressources renouvelables) est partie intégrante de la réduction de matériaux et de ressources et la réduction de l'énergie. Ainsi les nouveaux principes que nous proposons tiendront compte :

- Des paramètres d'utilisation qui sont liés aux propriétés du produit et le service rendu que procure le produit durant son cycle de vie (stabilité, résistance, facilité d'utilisation, etc).
- De l'adaptation à l'écoconception et en relation avec les dispositions prises par l'entreprise pour prendre en charge tous les impacts environnementaux (formation et sensibilisation du personnel, respect des normes en vigueur, application des outils d'écoconception dans le lancement de nouveaux produits, aspects organisationnels mis en place etc...).

La démarche semi qualitative est donnée sur la Figure 4.5.

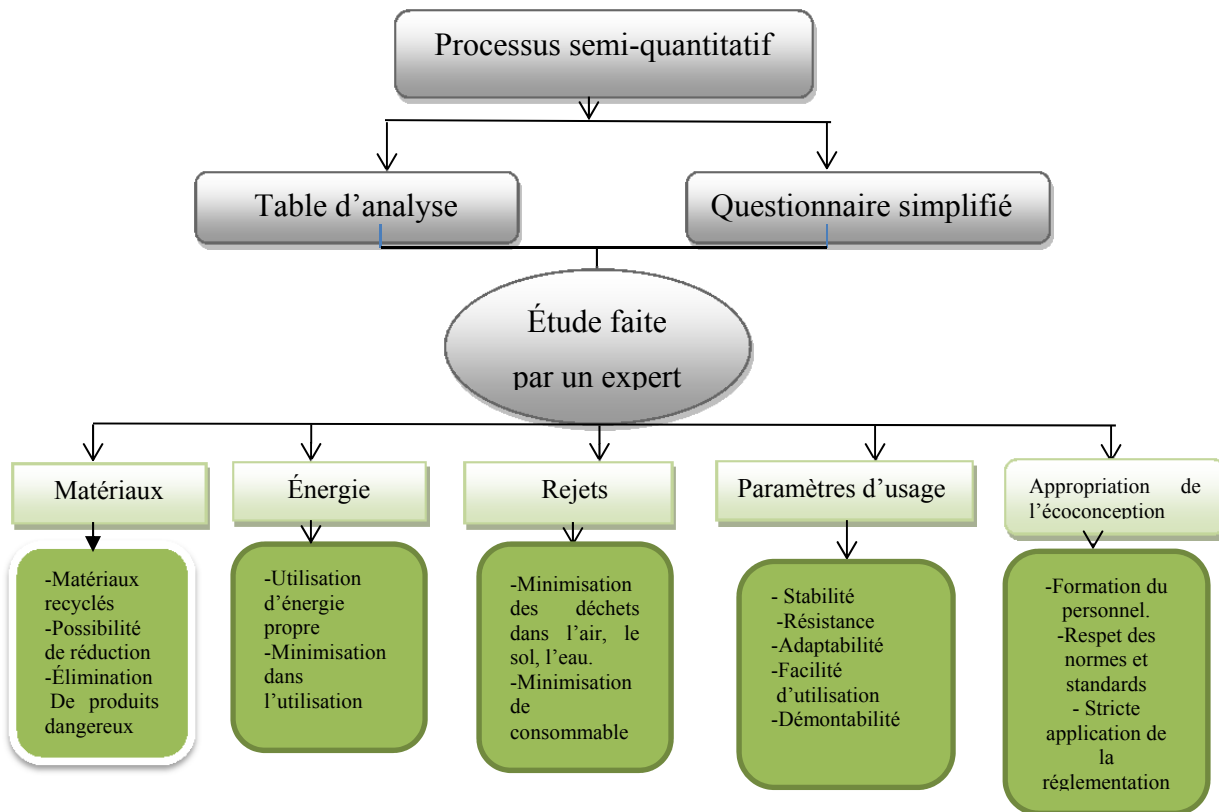


Figure 4.5 Démarche d'évaluation et paramètres à considérer.

Dans une première étape, l'utilisation de la matrice qui est basée sur une réponse à des questions rédigées de manière suffisamment générale, globale et multicritère pour s'appliquer à une plus large gamme de produits, en tirer le maximum d'informations et évaluer l'influence d'un produit sur l'environnement au cours de sa conception.

Selon les résultats obtenus, le concepteur doit axer ses efforts sur l'amélioration des paramètres d'éco-efficience du produit et selon le degré d'impact engendré. Une nomenclature avec abréviation est donnée, à titre d'exemple sur le Tableau 4.3 et une matrice guide dans ce cas est présentée au Tableau 4.4.

Tableau 4.3 Exemple de matrice guide pour l'éco-concepteur

| Paramètre Cycle de vie | Ecoefficiente | Matière | Energie | Rejets | Paramètres d'utilisation | Appropriation de l'écoconception |
|---|---------------|---------|---------|--------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Préfabrication et Production | | -- | -- | - | ++ | + |
| Emballage et Transport | | - | -- | -- | + | - |
| Utilisation | | + | - | + | ++ | + |
| Fin de vie | | - | + | - | - | + |

Tableau 4.4 Terminologie utilisée et niveau d'intervention du concepteur

| Position | Abréviation | Niveau d'intervention |
|---------------------|-------------|--------------------------|
| Très positif | ++ | Très Bas |
| Positif | + | Bas |
| Négatif | - | Élevé |
| Très négatif | -- | Très élevé |

4.5 Choix des règles importantes pour améliorer le produit

Un ensemble de règles, pour améliorer un aspect particulier durant le cycle de vie, doit être donné, ceci est un état de l'art des pistes à explorer pour réaliser une écoconception de produits.

À cette étape, il sera nécessaire de rechercher l'outil adéquat pour :

- Recenser les différentes règles importantes.
- Résoudre les problèmes de correspondance entre les combinaisons de règles, d'une part, et les aspects environnementaux, d'autre part.
- Donner les grandes lignes directrices qui sont importantes pour l'amélioration environnementale du produit.

Nous pourrions faire appel à des outils de résolution de problèmes techniques qui ont fait leur preuves dans d'autres domaines, tel que la génération de nouveaux concepts et qui pourront être testées dans l'éco-innovation.

C'est ainsi que TRIZ (théorie de résolution de problèmes inventifs) va être utilisée comme outil complémentaire pour soutenir la matrice simplifiée dans le cadre de l'éco innovation. Ceci pourra représenter une part très importante de notre problématique de recherche.

4.6 La démarche TRIZ

Pour les concepteurs, les problèmes découlant de deux ou plusieurs paramètres contradictoires sont souvent complexes. La méthode TRIZ appelée théorie des problèmes inventifs a été développée par Altshuller (1999). Cinq notions essentielles caractérisent la méthode :

- La gestion des contradictions, c'est à dire que tout problème doit être formulé de telle manière qu'il énonce une contradiction et au lieu d'accepter des compromis résultant de la prise en compte de certaines contraintes, les contradictions doivent être gérées en tant que telle, en proposant des solutions issues des 40 principes génériques de conception et 39 paramètres de conception.
- L'identification des ressources (énergies, substances, information, temps et espaces) nécessaires à la réalisation d'un système technique.
- Le raisonnement en système final idéal.
- Tenir compte des lois d'évolution des systèmes techniques.

- Lever l'inertie psychologique qui est l'obstacle majeur à la créativité.

4.6.1 Schéma habituel de résolution de problèmes par TRIZ

On rencontre occasionnellement une situation où l'amélioration d'un paramètre se traduit par la dégradation d'un autre: la solution consiste à rassembler des principes génériques qui permettent d'éliminer le conflit plutôt que de faire des compromis. De telles situations peuvent se présenter lorsque nous avons une situation à résoudre en agissant sur des paramètres physiques ou techniques. Ces paramètres peuvent être des paramètres d'ingénierie qui sont donnés par la matrice originale TRIZ (Tableau 4.5).

De telles situations peuvent se présenter aussi lorsque nous avons à traiter une problématique environnementale (amélioration d'un impact environnemental et dégradation d'un autre, un transfert de pollutions etc...). On peut citer par, exemple, l'augmentation de la durée de vie d'un produit (impact positif pour la gestion de fin de vie) et sa consommation énergétique (impact négatif par rapport à l'épuisement de ressources).

Tableau 4.5 Matrice de résolution des contradictions techniques

| | | Paramètres de conception | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------|--------------|
| Paramètre à améliorer | Paramètre dégradé par l'amélioration | 1 | 2 | 3 à 38 | 39 |
| | | Masse d'un objet mobile | Masse d'un objet immobile | , , , | Productivité |
| Paramètres de conception | 1 | Masse d'un objet mobile | | | 35,3,24, 37 |
| | 2 | Masse d'un objet immobile | | | 1,28,15, 35 |
| | 3 à 38 | , , , | | | |
| | 39 | Productivité | | | |

35,2

Numéros des principes

Dès lors, nous ne pouvons exploiter la matrice initiale pour résoudre notre problématique. Par contre, les paramètres d'éco-efficience ou impacts environnementaux peuvent avoir un lien avec certains paramètres d'ingénierie. C'est à partir de cette hypothèse que nous avons projeté de construire une nouvelle matrice, à partir de la matrice originale.

On procède par la suite à l'identification des principes TRIZ associés aux paramètres à améliorer avant l'identification des paramètres qui se dégradent. En comptabilisant la fréquence d'apparition des principes TRIZ apparaissant pour chaque paramètre, une nouvelle matrice appelée « Ecatriz » sera proposée. Elle consiste à associer à chaque paramètre un ensemble de principes innovants.

Ainsi la méthode conduit à proposer au concepteur de choisir un principe d'éco-efficience à améliorer en tenant compte d'un autre qui peut se détériorer, à la base de l'évaluation préliminaire et de déterminer le ou les principes inventifs qui peuvent être des leviers de solution au problème posé correspondant, à l'aide de la nouvelle matrice (Figure 4.6).

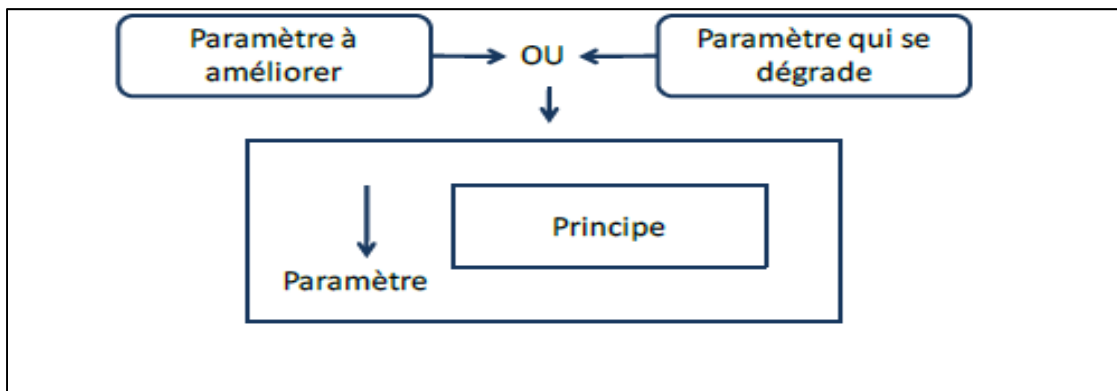


Figure 4.6 Matrice TRIZ sans les contradictions

Afin d'utiliser la matrice dans le cas de la résolution d'une contradiction, il faudra associer souvent des paramètres d'appréciation ou d'évaluation par rapport à la situation à résoudre avec un ou plusieurs paramètres d'ingénierie ou génériques.

4.6.2 Le choix de la méthode TRIZ

Pour les concepteurs, les problèmes découlant de deux ou plusieurs paramètres en conflit sont souvent complexes. Ces contradictions sont souvent rencontrées lorsque nous sommes préoccupés par les évaluations environnementales, en particulier quand il s'agit de faire face aux situations de transfert de pollution. Différents modèles de résolution de problème par TRIZ sont utilisés. La matrice se compose de 39 paramètres d'ingénierie (Tableau 4.6) disposés sur l'axe des abscisses et ordonnées. Puisque le principe même de la résolution sans compromis est parfaitement adapté au défi de l'éco-innovation, nous avons appliqué la méthode de résolution des problèmes inventifs en utilisant TRIZ.

Tableau 4.6 Les 39 paramètres d'ingénierie (PI)
Tirée de (idéation International Inc., 1999)

| Numéro | Caractéristique | Numéro | Caractéristique |
|-------------|---|-------------|---|
| PI1 | Masse de l'objet mobile | PI21 | Puissance |
| PI2 | Masse de l'objet immobile | PI22 | Perte d'énergie |
| PI3 | Longueur de l'objet mobile | PI23 | Perte de substance |
| PI4 | Longueur de l'objet immobile | PI24 | Perte d'information |
| PI5 | Surface de l'objet mobile | PI25 | Perte de temps |
| PI6 | Surface de l'objet immobile | PI26 | Quantité de substance |
| PI7 | Volume de l'objet mobile | PI27 | Fiabilité |
| PI8 | Volume de l'objet immobile | PI28 | Précision de la mesure |
| PI9 | Vitesse | PI29 | Précision de la fabrication |
| PI10 | Force | PI30 | Facteurs nuisibles agissant sur l'objet |
| PI11 | pression | PI31 | Facteurs nuisibles de l'objet |
| PI12 | Forme | PI32 | Facilité de réalisation |
| PI13 | Stabilité de l'objet | PI33 | Facilité d'utilisation |
| PI14 | Résistance | PI34 | Réparabilité |
| PI15 | Durabilité de l'action de l'objet mobile | PI35 | Universalité |
| PI16 | Durabilité de l'action de l'objet immobile | PI36 | Complexité de l'appareil |
| PI17 | Température | PI37 | Complexité de contrôle |
| PI18 | Brillance | PI38 | Degré d'automatisation |
| PI19 | Utilisation de l'énergie par l'objet mobile | PI39 | Productivité |
| PI20 | Utilisation de l'énergie par l'objet immobile | | |

L'amélioration d'un paramètre sélectionné sur l'axe des ordonnées (Colonne verticale) peut dégrader un autre placé en abscisse (Ligne horizontale): la solution est d'avoir des principes génériques qui permettent d'éliminer le conflit plutôt que d'avoir un compromis. Une fois les paramètres en conflit (à améliorer et se dégradant) choisis, le concepteur se placera dans la matrice de contradiction (Tableau 4.5). Ceux qui peuvent être une solution à la contradiction à l'origine du problème sont donnés par la matrice de contradiction à l'intersection des paramètres en conflit. Les principes inventifs sont donnés sur le tableau 4.7.

Tableau 4.7 Les 40 principes inventifs
Tirée de (idéation International Inc., 1999)

| Numéro | Principe | Numéro | Principe |
|--------|-------------------------------|--------|---|
| 1 | Segmentation | 21 | Action flash |
| 2 | Extraction | 22 | Transformation d'un problème en opportunité |
| 3 | Qualité locale | 23 | Asservissement |
| 4 | Assymétrie | 24 | Médiateur |
| 5 | Groupement | 25 | Self-service |
| 6 | Universalité | 26 | Copie |
| 7 | Poupées russes | 27 | Objet éphémère et bon marché |
| 8 | Countrepoids | 28 | Remplacement du système mécanique |
| 9 | Contre Action préalable | 29 | Pneumatique et hydraulique |
| 10 | Action préalable | 30 | Membranes flexibles et parois minces |
| 11 | Protection préalable | 31 | Matériaux poreux |
| 12 | Equipotentialité | 32 | Changement de couleur |
| 13 | Inversion | 33 | Homogénéité |
| 14 | Sphéricité | 34 | Éliminer et récupérer |
| 15 | Mobilité | 35 | Modification de paramètre |
| 16 | Action partielle ou excessive | 36 | Changement de phase |
| 17 | Changement de dimension | 37 | Dilatation thermique |
| 18 | Vibration mécanique | 38 | Oxydant puissant |
| 19 | Action périodique | 39 | Environnement inerte |
| 20 | Continuité d'une action utile | 40 | Matériaux composites |

Pour certains principes inventifs qui apparaissent le plus souvent dans la matrice PI (39x39), il est clair que leur examen peut conduire à un taux de réussite élevé pour résoudre un problème inventif.

Afin d'utiliser la matrice dans le cas de la résolution d'une contradiction, il faudra associer souvent des paramètres d'appréciation ou d'évaluation par rapport à la situation à résoudre avec un ou plusieurs paramètres d'ingénierie ou génériques.

Dans cette situation plusieurs cas peuvent se présenter :

- 1- Le ou les paramètre (s) d'appréciation sont équivalents à un ou des paramètres d'ingénierie: cette situation est la plus simple puisque les paramètres inventifs à considérer sont ceux qu'on peut lire à l'intersection des paramètres d'Ingénierie considérés et qui sont en contradiction.
- 2- Le ou les paramètres d'appréciation sont synonymes d'un paramètre d'ingénierie dans la matrice : dans ce cas ce ou ces paramètres peuvent être utilisés aussi pour résoudre la contradiction.
- 3- Le paramètre d'appréciation n'a pas d'équivalent ou de synonyme parmi les 39 paramètres : dans ce cas nous proposons d'associer chaque groupe de paramètres choisis en affinité avec chaque thématique environnementale considérée.

La démarche globale suivie est présentée sur la Figure 4.7

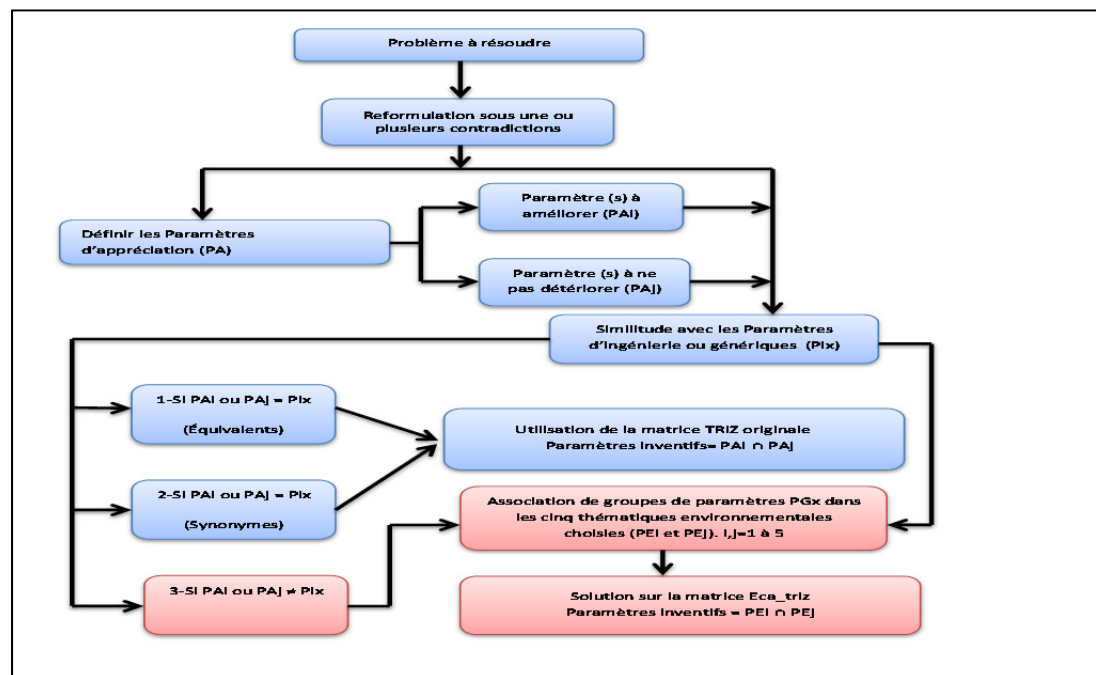


Figure 4.7 La démarche Eca-Triz pour lever la contradiction.

Pour appliquer TRIZ dans notre domaine de recherche, nous avons construit une nouvelle matrice en faisant correspondre les paramètres d'éco-efficacité aux paramètres d'ingénierie équivalents (Figure 4.8) qui figurent sur la matrice originale.

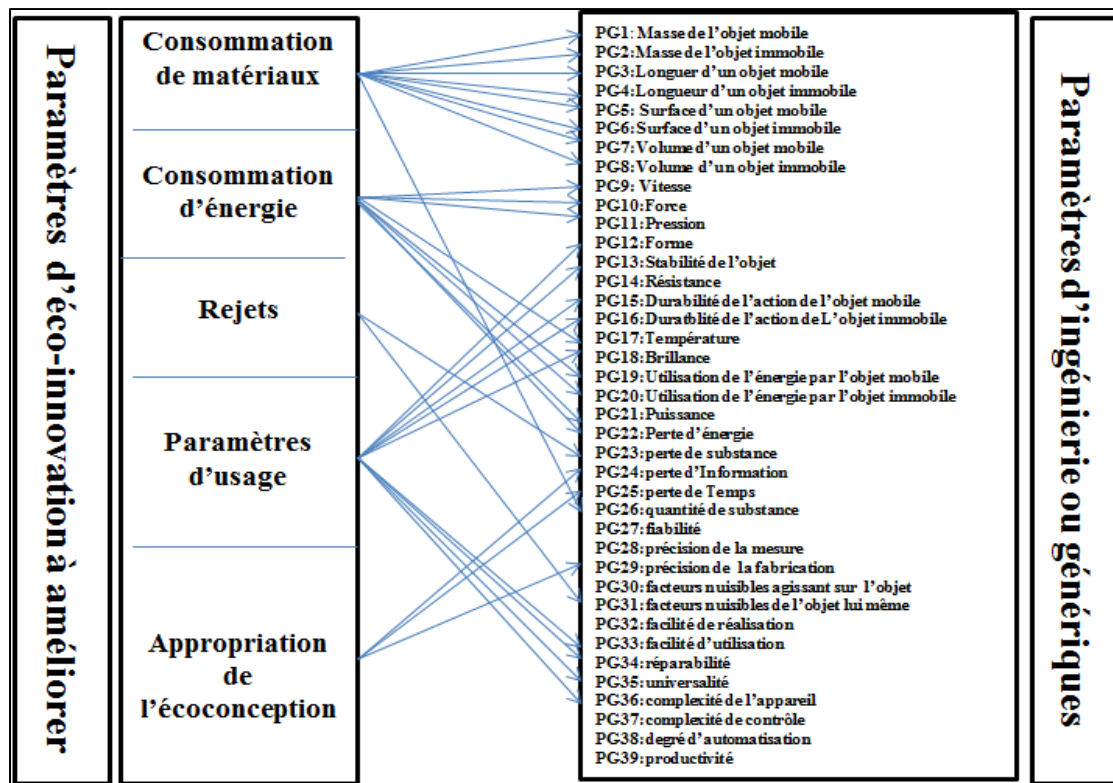


Figure 4.8 Correspondance entre les paramètres de l'éco-innovation et d'ingénierie.

Afin d'optimiser la probabilité d'occurrence de chaque paramètre dans le paramètre d'éco-efficience, nous avons considéré un maximum de paramètres.

Le Tableau 4.8 donne les correspondances entre les facteurs d'éco-efficience retenus et les paramètres d'ingénierie choisis parmi ceux contenus dans la matrice originale TRIZ.

L'objectif est de trouver des paramètres d'invention qui peuvent éliminer la contradiction et guider vers la solution, surtout quand il n'y a pas d'action où les paramètres d'ingénierie ne sont pas présents ou n'ont pas d'équivalent ou synonyme parmi les 39 paramètres.

Tableau 4.8 Correspondance entre paramètres d'éco-efficience
et paramètres d'ingénierie

| Paramètres d'écoefficience | Paramètres d'ingénierie (A partir de la matrice d'ingénierie TRIZ) |
|-------------------------------------|---|
| Consommation de matériaux | 1,2: (Masse),3,4:(Longueur),5,6:(Surface),7,8(Volume),26:(Quantité de substance) |
| Consommation d'énergie | 9:(Vitesse),10:(Force),11:(Pression),17(Température),19,20,22:(énergie), 21(Puissance) |
| Rejets | 23:(Perte de substance), 31:(Facteurs nuisibles de l'objet lui même) |
| Paramètres d'utilisation | 12:(Forme),13:(Stabilité) 14: (Résistance),15,16: (durée de l'action), 18: (Brillance),33:(Facilité d'utilisation),34: (Réparabilité):35(adaptabilité) |
| Appropriation de l'écoconception | 24: (Perte d'information),25: (Perte de temps),29: (Précision de la fabrication). |

Synthèse

Le choix des principes inventifs correspondant a été fait à partir des paramètres d'ingénierie. Pour appliquer TRIZ dans le domaine de l'éco-innovation, nous avons construit une nouvelle matrice. Les paramètres d'ingénierie sont classés et regroupés avec chaque paramètre d'éco-efficacité en correspondance tel que apparu sur la Figure 4.8. Les paramètres inventifs ont été regroupés et choisis, selon leur fréquence d'apparition à partir de la matrice initiale. Les résultats obtenus pour chaque cas sont donnés au chapitre 5.

CHAPITRE 5

OUTIL ET GUIDE UTILISATEUR

L'objectif étant de trouver des paramètres inventifs qui peuvent éliminer la contradiction et orienter vers la solution. Dans chaque cas, les paramètres sélectionnés sont ceux qui apparaissent fréquemment.

5.1 Résultats de la démarche

Pour chaque situation d'éco-efficience à améliorer il va correspondre une ou plusieurs autres situations d'éco-efficience à ne pas détériorer. À titre d'exemple, le Tableau 5.1 donne la situation dans le cas de la consommation de matériaux, avec une réduction de l'utilisation de l'énergie (Principes inventifs 18,34,19,35), une réduction des rejets (principes inventifs 35,3,5,22), une amélioration des paramètres d'utilisation (principes inventifs 2,35,1,25) et appropriation de l'écoconception (principes inventifs 10,35,28,24).

Tableau 5.1 Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de la consommation de matériaux

| Cycle de vie Impacté | Actions à réaliser | Paramètres de conception | Réduction énergie | Réduction rejets | Amélioration paramètres d'utilisation | Appropriation Ecoconception |
|------------------------|---|--|---|--|--|---|
| Extraction de MP | Réduire le nombre, la masse, le volume de composants. | 1,2 (Masse) | <u>18 (18 fois)</u> <u>Vibrations mécaniques</u> | <u>35 (22 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>2(19 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>10(24 fois)</u> <u>Action préalable</u> |
| Fabrication | Optimiser la conception pour éliminer les chutes | 3,4 (Longueur) 5,6 (Surface) 7,8(Volume) | <u>34 (12fois)</u> <u>Éliminer et récupérer</u> | <u>3(15 fois)</u> <u>Qualité locale</u> | <u>35(12 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>35(24 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> |
| Emballage et Transport | Minimiser les rejets lors du transport. | 26(Quantité de substance) | <u>19 (10 fois)</u> <u>Action périodique</u> | <u>5(13 fois)</u> <u>Grouperment</u> | <u>1(9 fois)</u> <u>Segmentation</u> | <u>28(9 fois)</u> <u>Remplacement du système mécanique</u> |
| Utilisation | Minimiser utilisation de consommable s. | | | | | |
| Fin de vie | Réduire, éliminer et réutiliser les rejets du produit | | <u>35(10 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>22(12 fois)</u> <u>Transformation d'un problème en opportunité</u> | <u>25(7 fois)</u> <u>Self-Service</u> | <u>24(8 fois)</u> <u>Intermédiaire</u> |

D'autres situations sont illustrées sur les Tableaux de 5.2 à 5.5.

Tableau 5.2 Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de la consommation d'énergie

| Cycle de vie Impacté | Actions à réaliser | Paramètres de conception | Réduction de matériaux | Réduction rejets | Amélioration paramètres d'utilisation | Appropriation Ecoconception |
|----------------------|--|---|--|--|---|---|
| Utilisation | Réduire, maîtriser, améliorer la géométrie des composants. | 9(Vitesse) | <u>19 (15 fois)</u> <u>Action</u> <u>périodique</u> | <u>35 (24fois)</u> <u>Changement de</u> <u>paramètre</u> | <u>19(17 fois)</u> <u>Action</u> <u>périodique</u> | <u>10 (26 fois)</u> <u>Action préalable</u> |
| | | 10(Force) | | | | |
| | | 11(Pression) | <u>18(13 fois)</u> <u>Vibrations</u> <u>mécaniques</u> | <u>2 (14 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>2(11 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>19(22 fois)</u> <u>Action périodique</u> |
| | Minimiser les pertes d'énergie | 17(Température) 19,20,22(énergie) 21(Puissance) | <u>6 (12 fois)</u> <u>Universalité</u> | <u>27 (10 fois)</u> <u>Objet</u> <u>éphémère et</u> <u>bon marché</u> | <u>35(11 fois)</u> <u>Changement de</u> <u>paramètres</u> | <u>35 (15 fois)</u> <u>Changement de</u> <u>paramètre</u> |
| Fin de vie | Récupérer les énergies accumulées | | <u>3 (6 fois)</u> <u>Qualité locale</u> | <u>18 (10 fois)</u> <u>Vibrations</u> <u>mécaniques</u> | <u>1(9 fois)</u> <u>Segmentation</u> | <u>18(15 fois)</u> <u>Vibrations</u> <u>mécaniques</u> |

Tableau 5.3 Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de rejets

| Cycle de vie Impacté | Actions à réaliser | Paramètres de conception | Réduction de matériaux | Réduction de l'énergie | Amélioration des paramètres d'utilisation | Appropriation de l'Ecoconception |
|------------------------|---|---|---|--|--|--|
| Fabrication | Eliminer et contrôler les rejets toxiques. | 23 (Perte de substance), | <u>35 (20 fois)</u> <u>Changement de</u> <u>paramètre</u> | <u>35 (24 fois)</u> <u>Changement</u> <u>de paramètre</u> | <u>2(25 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>10(17 fois)</u> <u>Action préalable</u> |
| | | | <u>6(17 fois)</u> <u>Universalité</u> | <u>2(14 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>35(17 fois)</u> <u>Changement de</u> <u>paramètre</u> | <u>35(13 fois)</u> <u>Changement de</u> <u>paramètre</u> |
| Emballage et Transport | Diminuer ou rendre inerte tous les rejets toxiques. | 31 (Facteurs nuisibles de l'objet lui même) | <u>22(13 fois)</u> <u>Transformatio</u> <u>n problème en</u> <u>opportunité</u> | <u>27(10 fois)</u> <u>Objet</u> <u>éphémère et</u> <u>bon marché</u> | <u>39 (10 fois)</u> <u>Environnement</u> <u>inerte</u> | <u>14 (9 fois)</u> <u>Mobilité</u> |
| Utilisation | | | | | | |
| Fin de vie | Identifier les rejets toxiques pour la récupération | | <u>3(12 fois)</u> <u>Qualité locale</u> | <u>18 (9 fois)</u> <u>Vibrations</u> <u>mécaniques</u> | <u>40 (10 fois)</u> <u>Matériaux</u> <u>composites</u> | <u>4 (9 fois)</u> <u>Asymétrie</u> |
| | | | | | | |

Tableau 5.4 Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de paramètres d'utilisation

| Cycle de vie impacté | Actions à réaliser | Paramètres de conception | Réduction de matériaux | Réduction de l'énergie | Amélioration des rejets | Appropriation de l'Ecoconception |
|----------------------|---|----------------------------|---|---|---|--|
| Utilisation | Optimiser les performances –ergonomique ,acoustiques, visuelles démontabilité, forme, adaptabilité, facilité d'utilisation etc... | 12(Forme) | <u>3(20 fois)</u> <u>Qualité locale</u> | <u>1 (15 fois)</u> <u>Segmentation</u> | <u>2 (25 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>10 (17 fois)</u> <u>Action préalable</u> |
| | | 13(Stabilité) | | | | |
| | | 14 (Résistance) | <u>35(14 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>13 (14 fois)</u> <u>Inversion</u> | <u>35 (18 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>4 (14 fois)</u> <u>Asymétrie</u> |
| | | 15,16(durée de l'action) | | | | |
| | | 18(Brillance) | <u>27 (7 fois)</u> <u>Objet éphémère et bon marché</u> | <u>15 (12 fois)</u> <u>Sphéricité</u> | <u>40 (10 fois)</u> <u>Matériaux composites</u> | <u>32(12 fois)</u> <u>Changement de couleur</u> |
| | | 33(Facilité d'utilisation) | | | | |
| | | 34(Réparabilité) | <u>25(7 fois)</u> <u>Self-Service</u> | <u>2 (10 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>28 (10 fois)</u> <u>Remplacement du système mécanique</u> | <u>1(12 fois)</u> <u>Segmentation</u> |
| | | 35(adaptabilité) | | | | |

Tableau 5.5 Principes inventifs et fréquence d'apparition dans le cas de l'appropriation de l'écoconception

| Cycle de vie Impacté | Actions à réaliser | Paramètres de conception | Réduction des matériaux | Réduction de l'énergie | Amélioration des rejets | Amélioration des paramètres d'utilisation |
|------------------------|--|----------------------------------|---|--|---|--|
| Extraction de MP | | | <u>10(19 fois)</u> <u>Action préalable</u> | <u>32(17 fois)</u> <u>Changement de couleur</u> | <u>35(25 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>1 (12 fois)</u> <u>Segmentation</u> |
| Fabrication | | 24(Perte d'information) | | | | |
| | | 25(Perte de temps) | <u>35(18 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> | <u>10(15 fois)</u> <u>Action préalable</u> | <u>10(16 fois)</u> <u>Action préalable</u> | <u>32(12 fois)</u> <u>Changement de couleur</u> |
| Emballage et Transport | Dispositions à entreprendre pour faciliter l'appropriation de l'outil écoconception à tous les niveaux | 29(Precision de la fabrication) | | | | |
| | | | <u>28 (13 fois)</u> <u>Remplacement du système mécanique</u> | <u>19(13 fois)</u> <u>Action préalable</u> | <u>18 (10 fois)</u> <u>Vibrations mécaniques</u> | <u>10(12 fois)</u> <u>Action préalable</u> |
| Utilisation | | | | | | |
| Fin de vie | | | <u>32(10 fois)</u> <u>Changement de couleur</u> | <u>2 (10 fois)</u> <u>Extraction</u> | <u>22 (10 fois)</u> <u>Transformation d'un problème en opportunité</u> | <u>35(10 fois)</u> <u>Changement de paramètre</u> |

Nous avons montré comment à partir de la matrice originale TRIZ (39X39), la nouvelle matrice appelée EcaTriz a été construite. La matrice résultante se réduit aux seuls paramètres d'eco-efficience préalablement fixés : Consommation de matériaux, consommation d'énergie, rejets, paramètres d'utilisation et appropriation de l'éco-conception. Ces paramètres sont disposés sur les axes d'une matrice 5X5. Cette matrice contient sur chacune de ses cases, un maximum de quatre principes inventifs qui peuvent aider à trouver la solution éco-innovante à une problématique posée.

5.2 Matrice résultante EcaTriz pour une résolution innovante de problématiques environnementales.

Le Tableau 5.6 regroupe les résultats de numéros des principes inventifs obtenus selon leur fréquence d'apparition, à partir de la matrice originale TRIZ et de regroupement de paramètres d'ingénierie en paramètres d'eco-efficience.

Ainsi et après regroupement selon les critères fixés et selon leur fréquence d'apparition nous avons retenu les 4 premiers principes

Tableau 5.6 Nouvelle matrice résultante EcaTriz

| Paramètre qui se détériore → Paramètre à améliorer ↓ | Consommation de matériaux | Consommation d'énergie | Rejets | Paramètres d'usage | Appropriation de l'écoconception |
|---|---------------------------|------------------------|-------------|--------------------|----------------------------------|
| Consommation de matériaux | - | 35,18,10,15 | 35,3,5,22 | 2,35,1,25 | 10,35,28,24 |
| Consommation d'énergie | 19,18,6,3 | - | 35,2,27,18 | 19,2,35,1 | 10,35,18,19 |
| Rejets | 35,6,22,3 | 35,2,27,18 | - | 2,35,39,40 | 10,35,15,4 |
| Paramètres d'usage | 3,35,27,25 | 1,13,15,22 | 2,35,40,28 | - | 10,4,32,1 |
| Appropriation de l'écoconception | 10,35,28,32 | 32,10,19,2 | 35,10,18,22 | 1,32,10,35 | - |

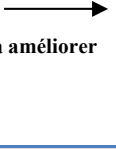
Ainsi pour chaque situation de paramètres à améliorer (sur l'axe vertical) va correspondre des numéros de principes inventifs à ne pas détériorer (sur l'axe horizontal).

Le concepteur choisira parmi ces principes inventifs et utilisera celui qui convient le mieux à la résolution de son problème.

Afin d'aider le concepteur à bâtir une stratégie basée sur l'amélioration de paramètres liés à l'utilisation de produits, nous donnons sur le Tableau 5.7 les paramètres inventifs résultant pour quelques paramètres d'usage choisis et à améliorer (axe vertical) en fonction de situations de paramètres d'éco-efficience à ne pas détériorer (axe horizontal).

Nous rappelons que ces paramètres sont un échantillon parmi d'autres que nous pourrions exploiter à partir des paramètres d'ingénierie de la matrice TRIZ initiale.

Tableau 5.7 Matrice résultante des paramètres inventifs pour l'amélioration des paramètres d'usage

| Paramètre qui se détériore Paramètre à améliorer  | Consommation de matériaux | Consommation d'énergie | Rejets | Appropriation de l'écoconception |
|--|---------------------------|------------------------|-------------|----------------------------------|
| Forme | 10,36,8,15 | 14,2,6,40 | 35,14,1,29 | 32,14,10,30 |
| Stabilité | 35,15,21,26 | 27,14,13,4 | 35,2,40,14 | 35,27,18 |
| résistance | 40,1,29,27 | 10,35,19,17 | 35,15,18,22 | 3,29,27,28 |
| Durabilité | 19,35,5,3 | 18,35,6,28 | 21,28,39,27 | 10,3,20,27 |
| Brillance | 10,36,8,15 | 14,2,6,34 | 35,29,8,1 | 32,14,10,30 |
| Facilité utilisation | 13,25,12,6 | 13,2,1,19 | 28,32,2,24 | 10,4,1,32 |
| Réparabilité | 2,35,25,28 | 15,1,32,28 | 35,2,27,34 | 10,25,32,1 |
| Adaptabilité | 15,,19,1,3 | 35,18,19,15 | 15,10,2,13 | 35,28 |

Un résumé des différentes solutions de situations conflictuelles entre paramètres d'écoefficient est donné sur les Figures 5.1 à 5.5.

Les résultats donnés sur ces figures peuvent être exploités de deux manières par le concepteur :

- Soit considérer une situation donnée pour lesquelles une amélioration d'un paramètre est attendue sans engendrer une détérioration d'un autre paramètre.
- Soit considérer une situation donnée pour lesquelles une amélioration d'un paramètre est attendue sans engendrer une détérioration de plusieurs ou tous les autres paramètres considérés.

Si nous considérons le second cas, les figures qui suivent peuvent faciliter la lecture des résultats pour un utilisateur potentiel.

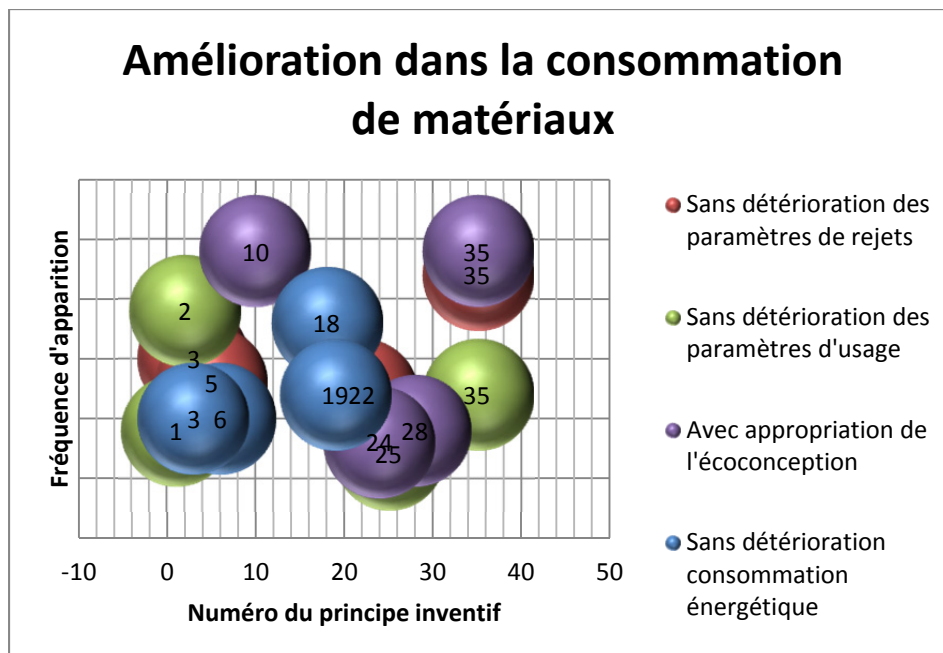


Figure 5.1 Fréquence d'apparition des principes inventifs obtenus pour l'amélioration matérielle.

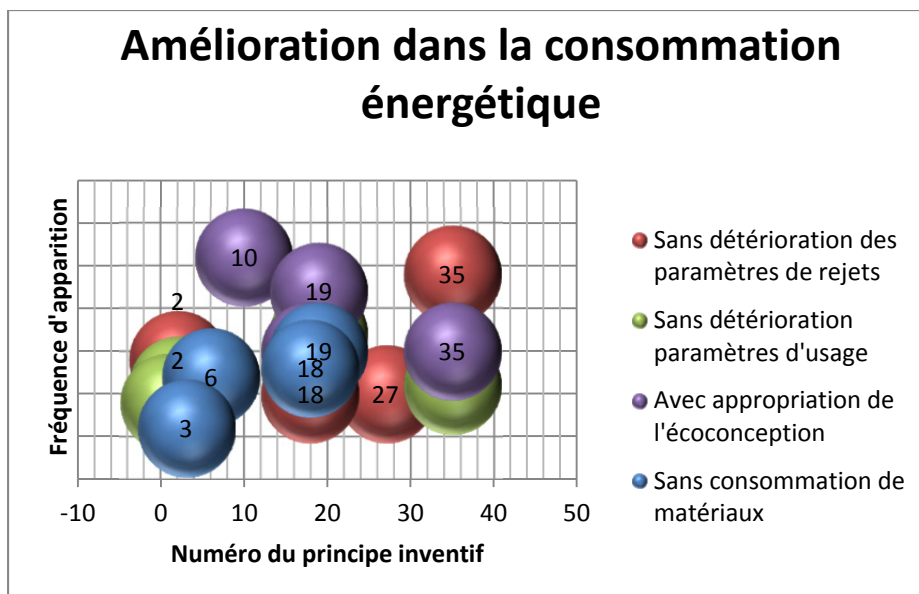


Figure 5.2 Fréquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration énergétique.

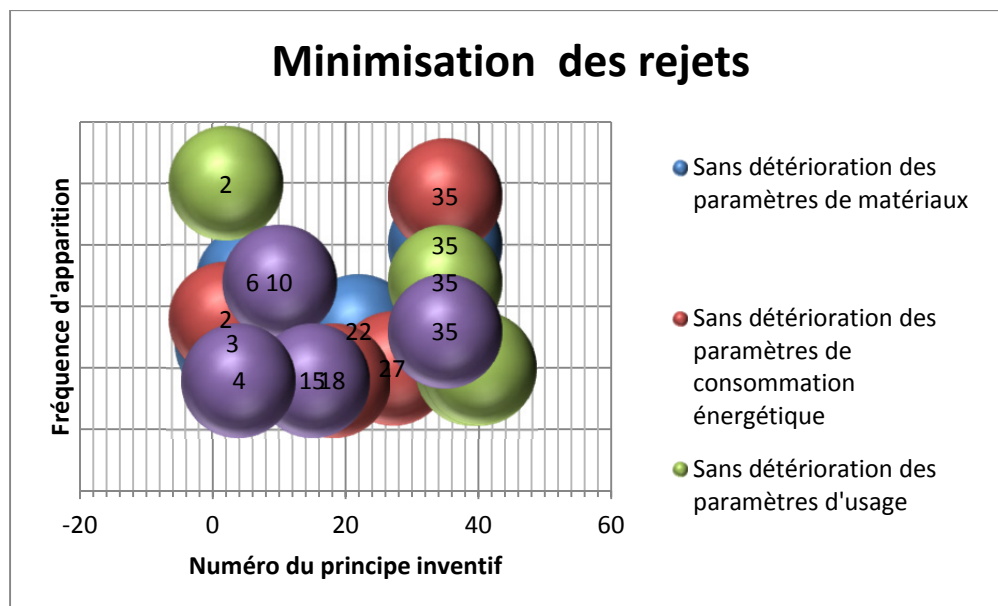


Figure 5.3 Fréquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration des rejets générés.

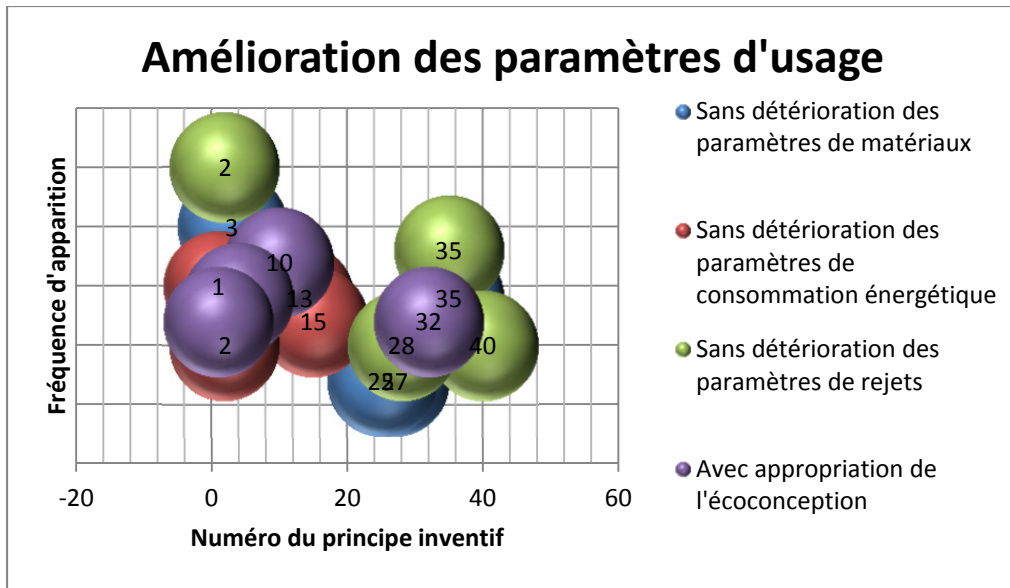


Figure 5.4 Fréquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration des paramètres d'usage.

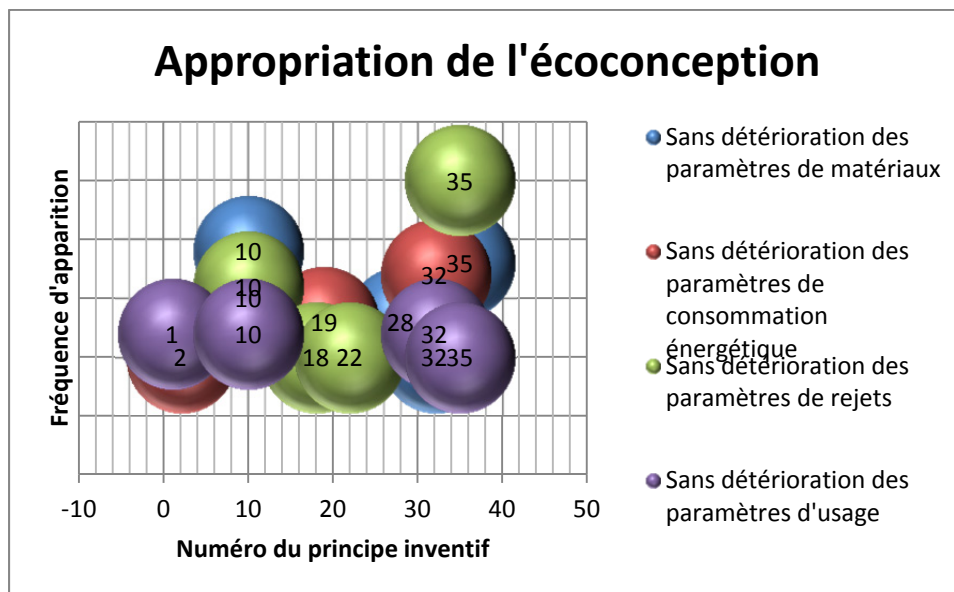


Figure 5.5 Fréquence d'apparition des principes inventifs pour l'amélioration de l'appropriation de l'écoconception.

5.3 Guide méthodologique (EcaTRIZ) d'aide à la conception ou à l'amélioration d'un nouveau produit, d'un nouveau concept basé sur une démarche éco-innovante

Le guide a pour objectif d'améliorer le processus de développement de produits ou procédés respectueux de l'environnement dans une démarche innovante et une solution sans compromis. Il peut être appliqué à un nouveau produit à lancer ou un produit existant à améliorer et peut être aussi appliqué au développement d'un nouveau concept. Les utilisateurs potentiels sont les concepteurs de produits ou de services, organisation ou PME ou toute personne impliquée dans la conception éco-innovante.

Les différentes étapes sont résumées dans ce qui suit :

1^{ère} étape : Évaluation qualitative globale et multicritère.

La première étape consiste à fixer les étapes du cycle de vie du produit ou du procédé, à définir les paramètres d'écocoefficienc. L'objectif, lors de cette étape est de définir les points faibles et sur lesquels le concepteur doit se consacrer.

Il s'agit de construire une matrice constituée des étapes du cycle de vie du produit ou concept et des aspects environnementaux. L'addition en horizontale donnera la pondération selon l'étape et verticale selon l'aspect environnemental (Notation de 0 à 5, avec 5 comme cas le plus défavorable).

2^{ème} étape : Traduire les résultats d'évaluation en axes de conception car l'évaluation environnementale ne fournit pas directement la solution aux concepteurs.

À ce stade plusieurs pistes de solutions sont possibles. Mais en général ces axes proposés sont incompatibles ou contradictoires. Comme solution habituelle, on peut envisager un regroupement de ces axes. Nous voulions justement éviter cette solution par compromis. La solution est d'utiliser la matrice Ecatrix pour lever les contradictions et donner une solution en évitant le compromis. La démarche est résumée sur la Figure 5.6.

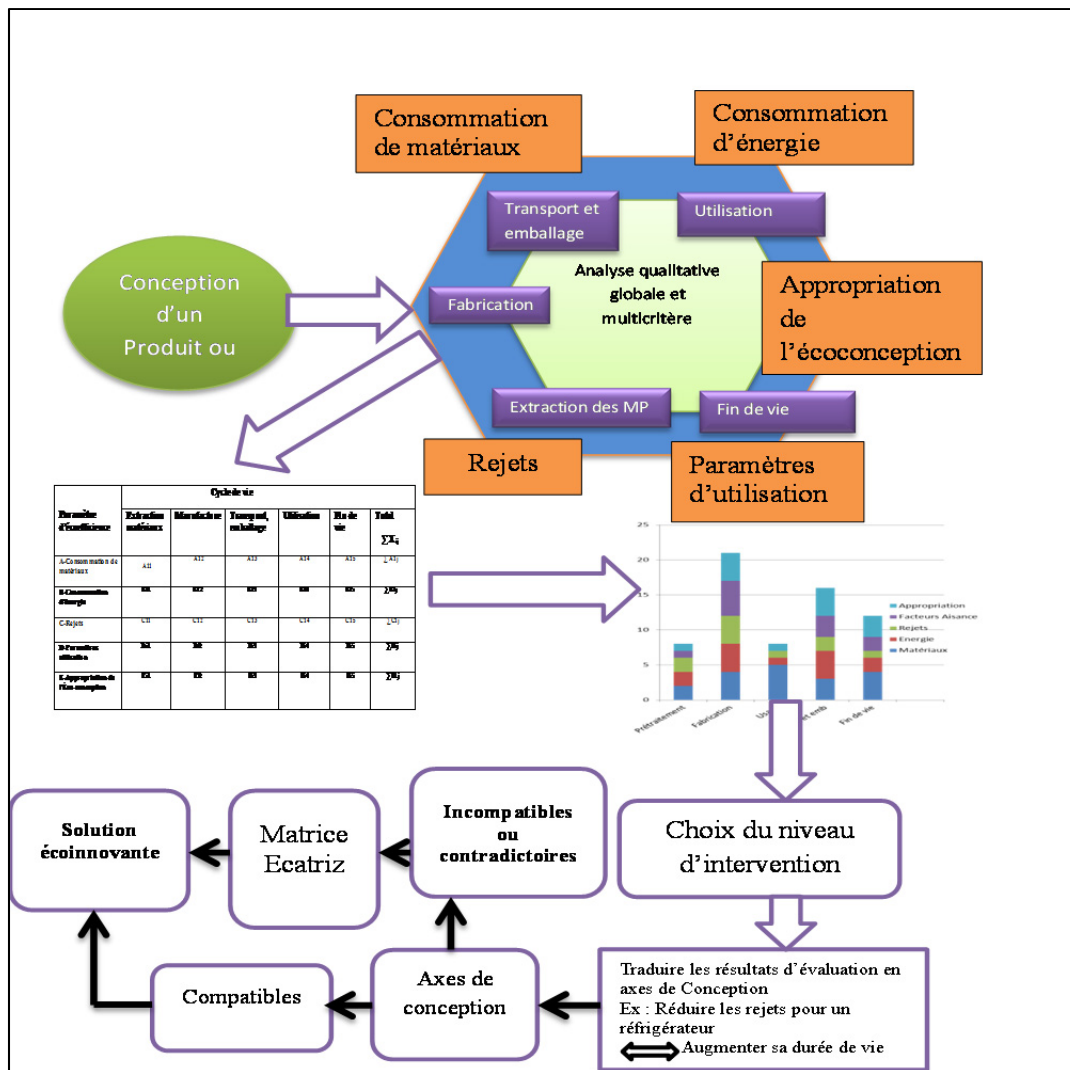


Figure 5.6 Trousse à outils pour le concepteur.

La Figure 5.7 est donnée sous forme d'un guide d'écoconception, où pour chaque objectif assigné de réduction d'impact, correspond des idées ou des leviers sur lesquels le concepteur peut se baser pour sa recherche d'une solution éco-innovante.

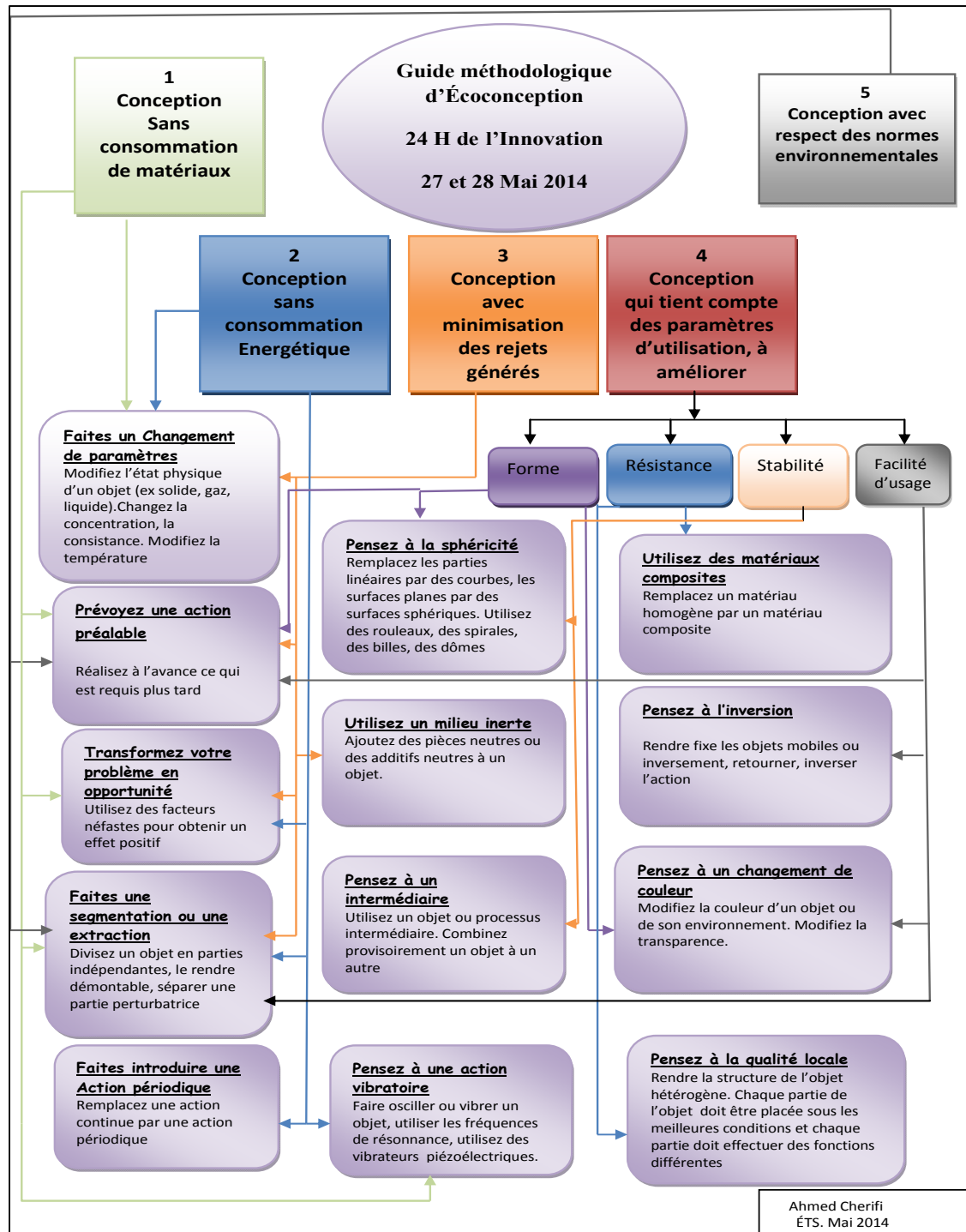


Figure 5.7 Guide méthodologique d'écoconception pour le concepteur.

Des idées de solution pour chaque cas sont donnés sous forme de principes inventifs sont résumées dans le Tableau 5.8.

Tableau 5.8 Leviers de solutions à actionner

| Impact à considérer | Les leviers potentiels récurrents |
|---|---|
| Consommation de matériaux | <ul style="list-style-type: none"> - Faire un changement de paramètres - Faire une action préalable - Transformer un problème en opportunité - Faire une extraction ou une ségmentation - Introduire une action vibratoire |
| Consommation d'énergie | <ul style="list-style-type: none"> - Faire un changement de paramètres - Introduire une action périodique - Transformer un problème en opportunité - Faire une extraction ou une ségmentation - Introduire une action vibratoire |
| Rejets | <ul style="list-style-type: none"> - Faire un changement de paramètres - Faire une action préalable - Transformer un problème en opportunité - Faire une extraction ou une ségmentation - Utiliser un milieu inerte |
| Paramètres d'utilisation | <ul style="list-style-type: none"> - Faire une extraction ou une ségmentation - Penser à la sphéricité, changement de couleur - Qualité locale, inversion |
| Appropriation de l'écoconception | <ul style="list-style-type: none"> - Action préalable - Faire une extraction ou une ségmentation |

La figure 5.8 facilite la lecture des idées avancées dans chaque cas.

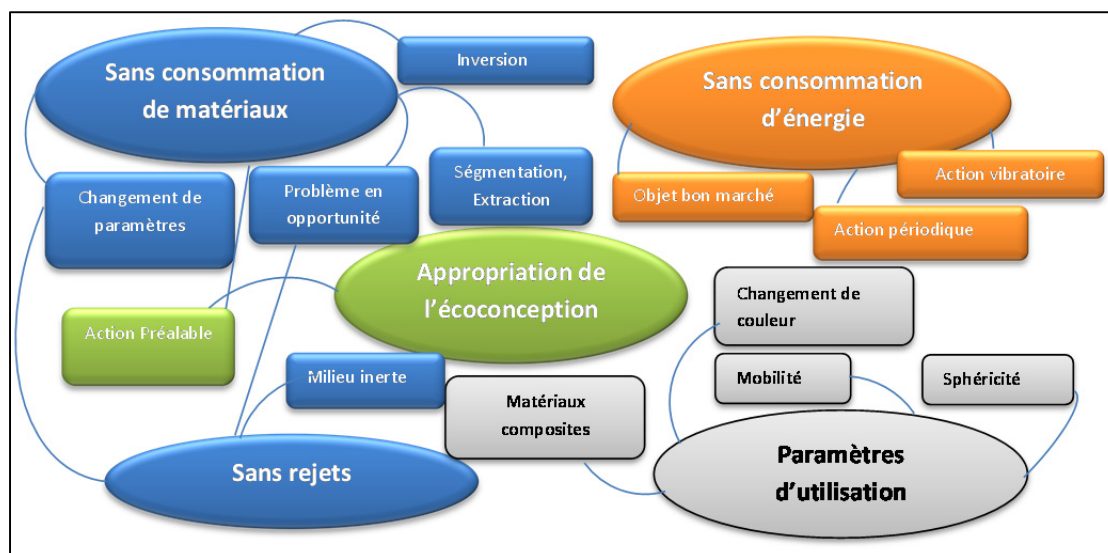


Figure 5.8 Les règles d'or pour une conception éco-innovante.

La figure 5.9 résume l'essentiel des objectifs à travers les dimensions ciblées.

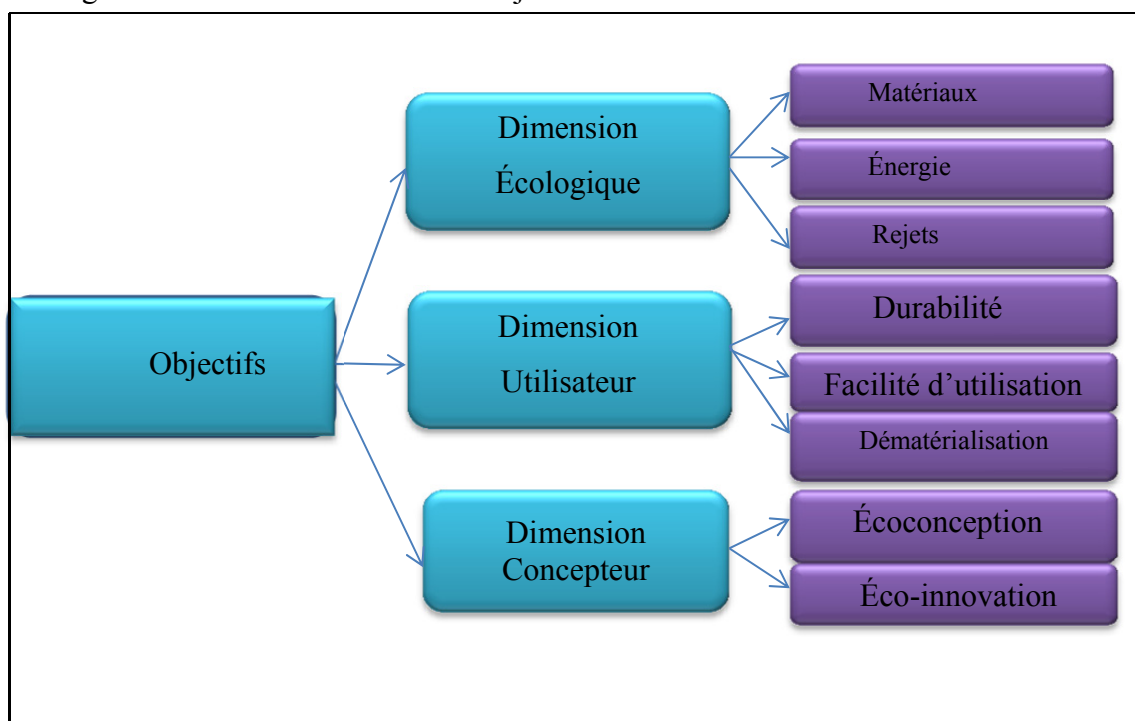


Figure 5.9 Les dimensions ciblées par cette recherche.

La trousse à outil présentée repose sur un outil adapté afin de simplifier son utilisation. Elle permet aux concepteurs, aux équipes qui participent à des séances de créativité de trouver des solutions innovantes et en utilisant des leviers qui peuvent être des idées de solution à des problématiques de conception. Il s'agit aussi d'un module de sensibilisation pour anticiper sur les transferts d'impacts et une participation à des innovations durables et en conformité avec la réglementation.

L'objectif en général est d'orienter l'utilisateur vers un concept innovatif utilisant les leviers présentés. Ces actions doivent être soutenues par une réflexion en séances d'idéation, à titre d'exemple, afin de finaliser l'idée du concept à mettre en œuvre.

Synthèse

À partir de la matrice originale TRIZ (39X39) constituée des paramètres d'ingénierie nous avons construit une nouvelle matrice Eca Triz (5X5) constituée de paramètres d'écoefficientence. Le regroupement de paramètres d'ingénierie en paramètres d'écoefficientence selon les critères fixés entraîne par conséquence le regroupement des paramètres inventifs correspondant. Ainsi dans la matrice résultante nous retrouvons un maximum de 4 paramètres ayant une plus grande fréquence d'apparition.

Afin de mieux exploiter les résultats obtenus, une représentation graphique des différents cas relatifs aux différentes situations conflictuelles est donnée. Ceci peut faciliter la tâche à tout utilisateur pour le choix d'action à mener.

CHAPITRE 6

ÉTUDE DE CAS

Dans le présent chapitre, notre intention est de vérifier la démarche méthodologique appliquée à des cas de concepts et projets en rapport avec l'écoconception. Nous avons considéré deux expériences intéressantes, comme un test de validation pour conforter les résultats de notre démarche :

- Des brevets publiés ou projets réalisés pour des cas d'écoconception.
- Des solutions aux défis à caractère environnementaux présentés lors de la compétition des 24H de l'innovation.

Dans les deux cas, la démarche proposée repose sur la recherche d'actions ou de leviers utilisés où résultats obtenus par les auteurs dans ces divers projets en relation avec l'écoconception. Afin de vérifier et valider les résultats de notre démarche méthodologique, nous les appliquons, dans les mêmes conditions et avec les mêmes objectifs à ces projets. Nous comparons, enfin les solutions avancées à celles qui pourraient être prévues par notre approche. Le projet aboutissant, par suite sur une méthode innovante d'éco conception fondée sur TRIZ et sur un module de sensibilisation.

Avant de faire le test de validité sur ces cas, nous proposons une trousse à outil qui peut faciliter la lecture des résultats de la démarche et aider pour une meilleure appropriation. Ces résultats sont présentés sous forme d'un guide ou module de sensibilisation.

Dans les chapitres précédents nous avons détaillé notre démarche méthodologique Eca Triz et montré l'intérêt de son application à la résolution de problématiques liées à une conception éco-innovante. Afin de faciliter l'utilisation de cet outil et permettre aux équipes de concepteurs de se l'approprier tout en dépassant les solutions existantes et à sortir du cadre de référence habituelle, nous proposons une trousse à outil simplifiée pour l'utilisateur.

Elle peut être destinée aux entreprises qui ont peu d'expérience dans la pratique de l'écoconception: cest une démarche simplifiée, à appliquer pour toute problématique industrielle de conception de produit ou de procédé. Elle peut aussi être d'un soutien aux équipes participant aux séances de créativité pour la résolution de problématiques posées afin d'apporter des solutions éco-innovantes.

6.1 Test de validité sur des exemples de brevets publiés en éco-innovation

A l'aide de brevets publiés choisis et en relation avec l'écoconception nous avons testé les résultats de notre démarche. Le Tableau 6.1 ci-dessous donne un ensemble de thématiques de brevets choisis.

Tableau 6.1 Application à des cas de brevets publiés en rapport avec l'écoconception

| | |
|---|---|
| Nouvelles semelles écoconçues | Système de déneigement et de dégel pour un véhicule terrestre à moteur, et véhicule ainsi équipé |
| Céramiques à base de mâchefers de déchets ménagers | Déneigement par un parapluie chauffant (paraneige) |
| Traverse de chemin de fer écologique | Les nids de poules producteurs d'énergie |
| Caisse palette recyclable à 100% | Le concept Green Noise exploitant le son pour le convertir en énergie |
| Toiture à couverture végétale modulaire | Etiquette de triage des déchets |

6.1.1 Application à une semelle pour chaussure

La présente invention est relative à une semelle pour chaussure (Olivier L, Brunot T, 2007). On connaît Les semelles qui sont constituées de matériaux amortissants et/ou isolants. L'utilisation de ce type de matériaux dans l'industrie de l'habillement présente le défaut d'être

extrêmement consommateur d'énergie lors de leur fabrication et d'être très compliqués à recycler.

L'objet de la présente invention est de réaliser des semelles permettant d'amortir des impacts mécaniques répétitifs (résistantes) tout en ayant une bonne forme. La Figure 6.1 ci-dessous donne la situation du problème d'écoconception à régler, les paramètres d'évaluation à considérer et la solution donnée par Eca TRIZ, comparée à l'idée de solution préconisée par le brevet.

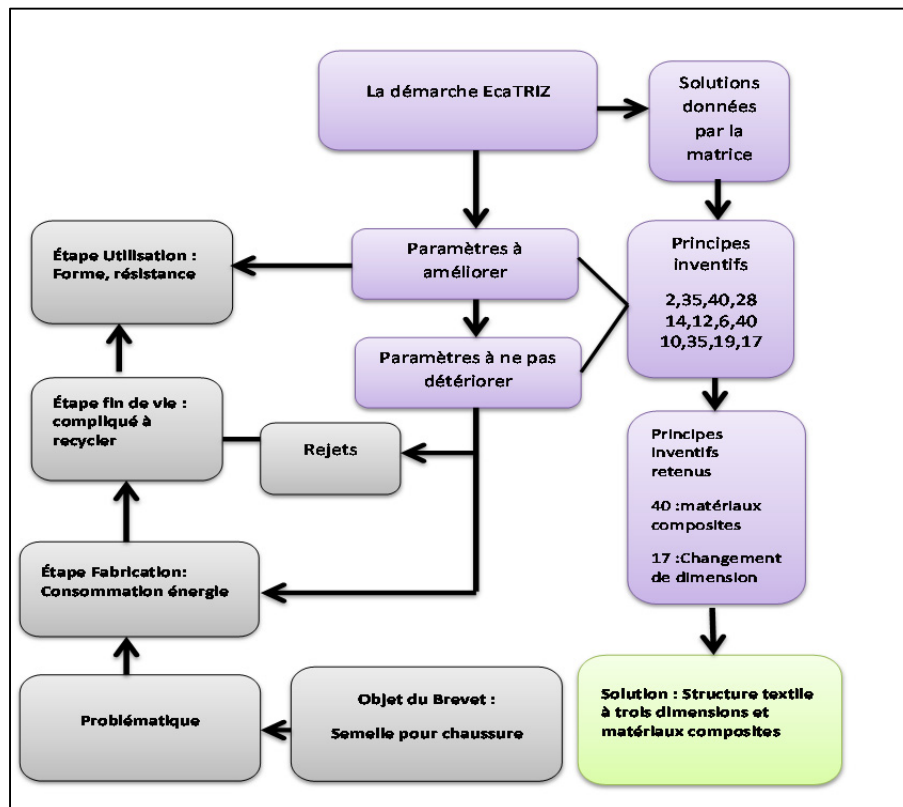


Figure 6.1 Schéma de la démarche Ecatriz comparée à la solution.

6.1.2 Céramique à base de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères

La présente invention de Vincent. B (2007) trouve son application, plus particulièrement, dans le domaine des matériaux cristallisés du type céramique, notamment pour une utilisation à titre de carrelage. Dans l'état de la technique et comme matériau cristallisé, on connaît

principalement des céramiques réalisées à partir d'un mélange de matières premières minérales comportant par exemple de l'argile et du feldspath. Ce mélange est transformé, à la faveur d'un traitement thermique, de manière à former des carreaux. L'intérêt de l'invention est qu'elle propose d'incorporer des composants de moindre coût, tels que du mâchefer (réduction du temps de cuisson et aussi abaissement de la température), dans les mélanges servant de base pour la céramique. La Figure 6.2 ci-dessous donne la situation du problème d'écoconception à régler, les paramètres d'évaluation à considérer et la solution donnée par Eca-TRIZ, comparée à l'idée de solution préconisée par le brevet.

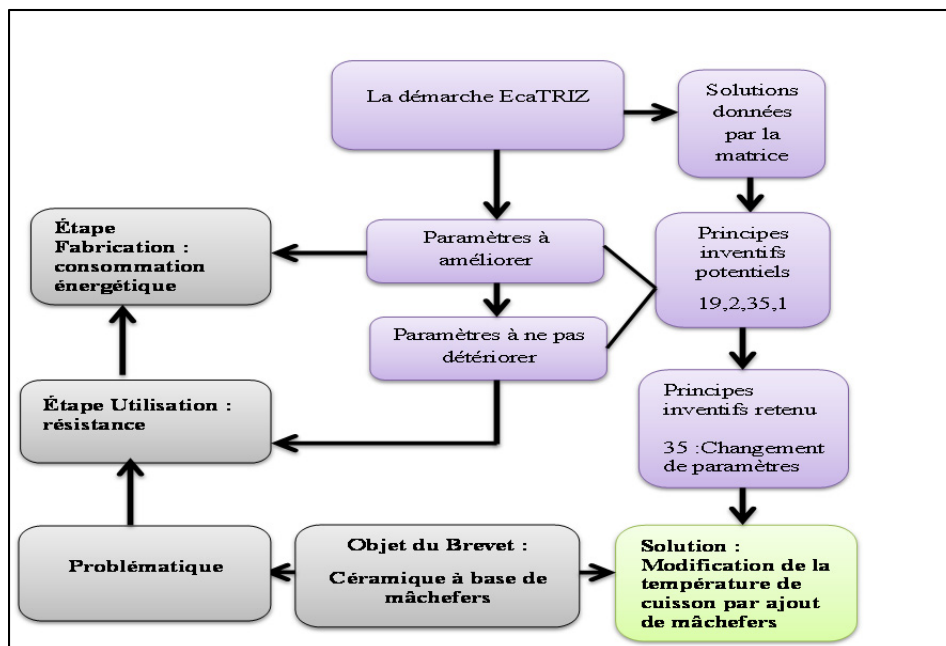


Figure 6.2 Schéma de la démarche Ecatriz comparée à la solution.

Les autres cas sont traités en Annexe VIII.

Synthèse

Les résultats de la méthode Eca Triz ont été appliqués pour 7 cas de brevets publiés en relation avec l'écoconception et l'innovation ainsi que 2 projets expérimentaux dans le cadre de la récupération énergétique (voir annexe VIII).

Le principe étant de fixer pour chaque cas la problématique pour laquelle la solution éco-innovante est recherchée. Cette problématique est par suite reformulée sous forme de paramètres à améliorer et paramètres qui peuvent se détériorer. Une fois ces paramètres fixés, nous avons utilisé la matrice EcaTriz pour rechercher le ou les principes inventifs correspondants et qui peuvent être une solution à la problématique de départ.

Certains principes inventifs retenus peuvent ne pas correspondre à la situation de solution adaptée pour résoudre la problématique. Une séance d'idéation est nécessaire pour le choix final du ou des principes qui peuvent s'y adapter.

6.2 Application aux défis de la compétition des 24H de l'innovation

Dans le cadre de la compétition des 24h de l'innovation, nous avons proposé un guide d'écoconception aux équipes participantes pour cette 7^{ème} édition. Pour rappel, cette compétition internationale s'est déroulée cette année à l'ÉTS et à l'international a vu la participation de 1121 inscrits répartis dans 177 équipes localisées dans 28 sites à travers le monde. Des équipes composées d'étudiants et de professionnels ont 24H pour développer des solutions innovantes en réponse à des sujets proposés par des entreprises, des laboratoires, des créateurs...

Les participants présentent le lendemain leurs résultats en 2 mn devant un jury et les meilleures équipes sont primées.

Un guide de recettes a été conçu par notre équipe de recherche, contenant des données et des informations dans les trois langues (Anglais, Français et espagnol).

En plus des outils, mini-outils de créativité et capsules, un guide d'écoconception qui permettra de rechercher une solution éco-innovante a été proposé. La grille d'évaluation utilisée par le jury lors de cette compétition et présentée en annexe 4, prend en compte la dimension écoconception.

Ce guide étant le résultat de notre démarche méthodologique que nous voulons vérifier à travers les solutions en réponse aux défis présentés.

Les tableaux du guide chronologique est donnée en annexe IV.

Pour chaque site, un jury sélectionne la meilleure vidéo qu'il soumet au jury international.

6.2.1 Le guide méthodologique proposé

Le guide proposé sous forme de 6 capsules vidéo (Annexe VI) est basé sur les résultats obtenus par notre démarche méthodologique. L'objectif étant d'évaluer, à travers les solutions préconisées, si des solutions peuvent être anticipées et prévues par l'utilisation du guide.

1^{ère} et 2^{ème} étape : durant ces étapes on procède à une hiérarchisation des impacts puis on choisit le paramètre d'écocoefficiencie à améliorer.

Nous représentons sur la figure 6.3 la démarche suivie.

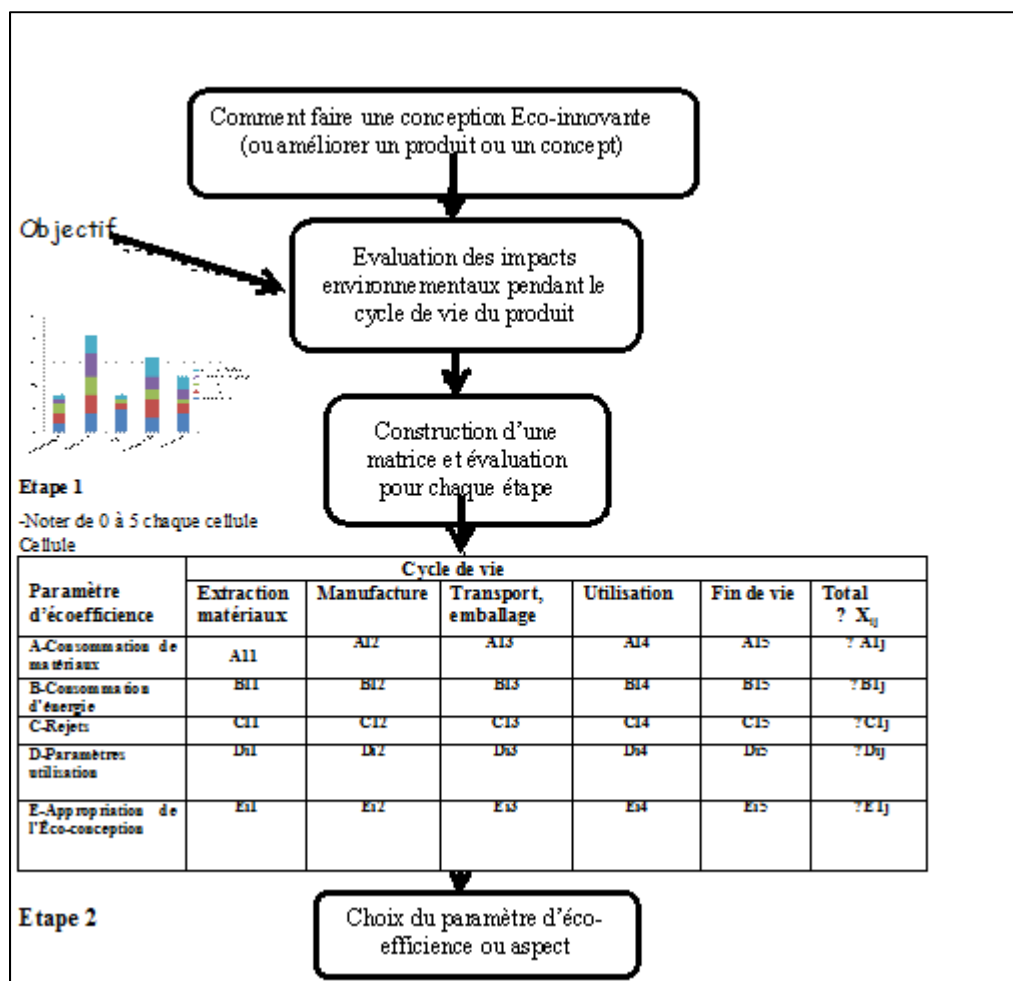


Figure 6.3 Construction d'une matrice d'évaluation des impacts et choix des paramètres de conception.

3ème étape : On traduit les résultats d'évaluation en axes de conception

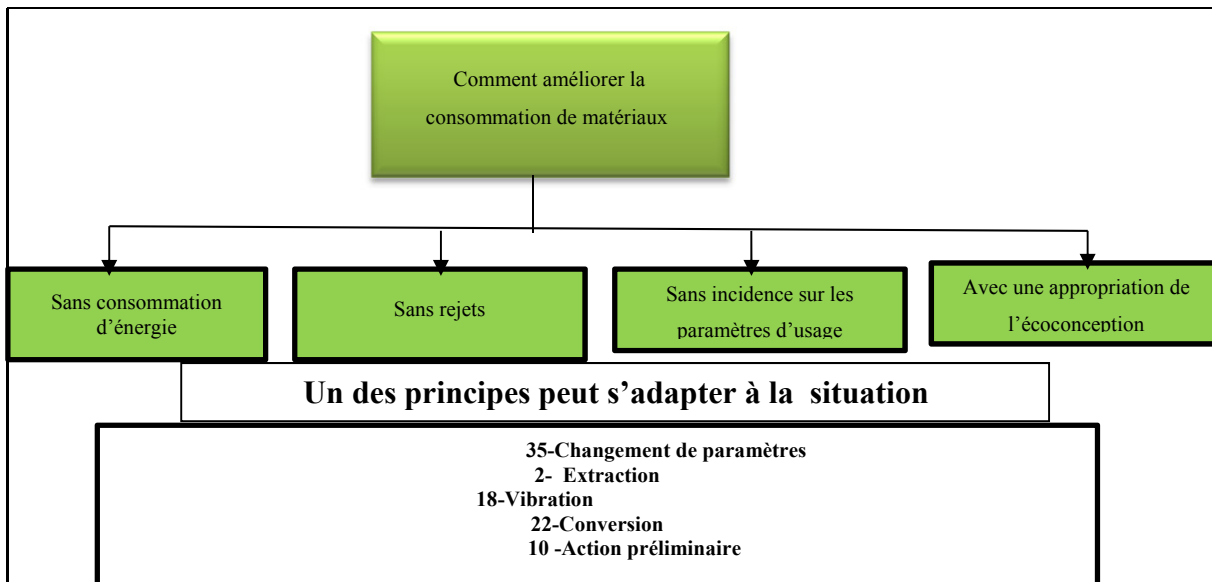


Figure 6.4 Exemple de Leviers à actionner pour améliorer la consommation des matériaux.

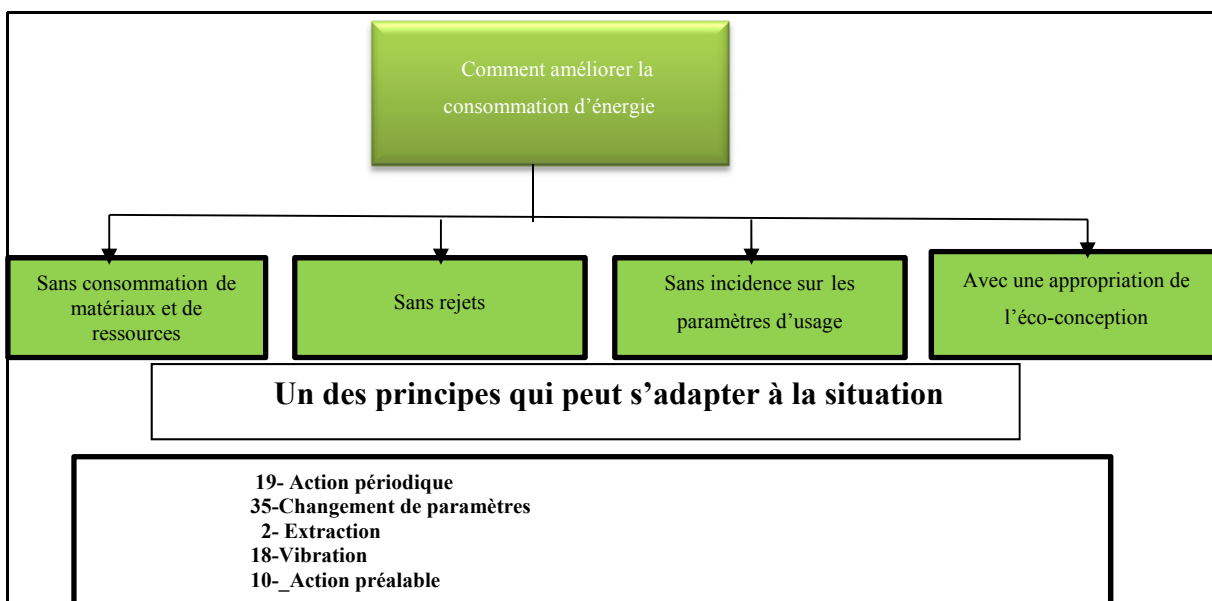


Figure 6.5 Leviers à actionner pour améliorer la consommation d'énergie.

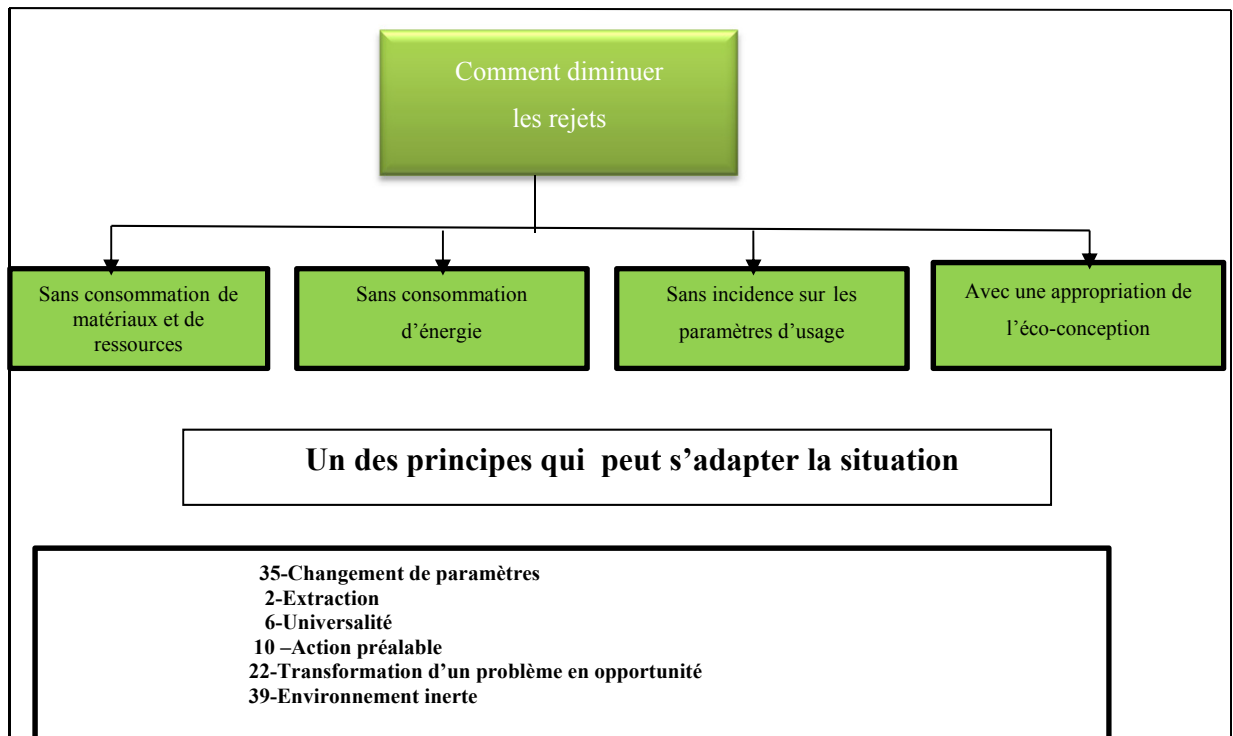


Figure 6.6 Leviers à actionner pour diminuer les rejets.

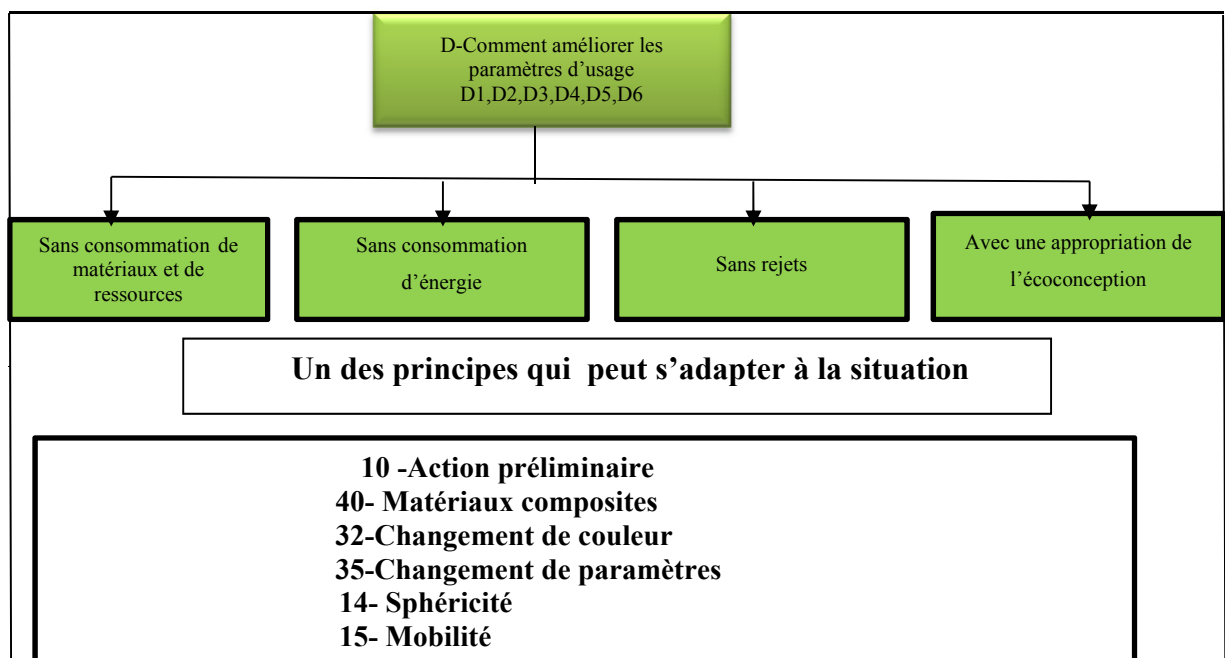


Figure 6.7 Leviers à actionner pour améliorer les paramètres d'utilisation.

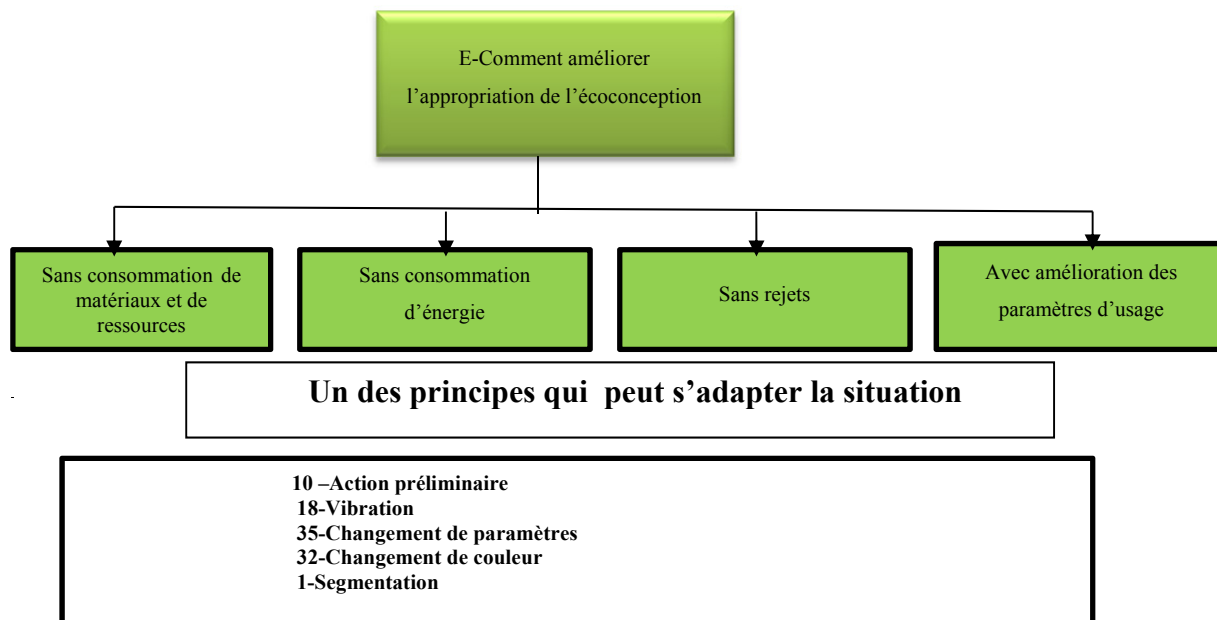


Figure 6.8 Leviers à actionner pour améliorer l'appropriation de l'écoconception.

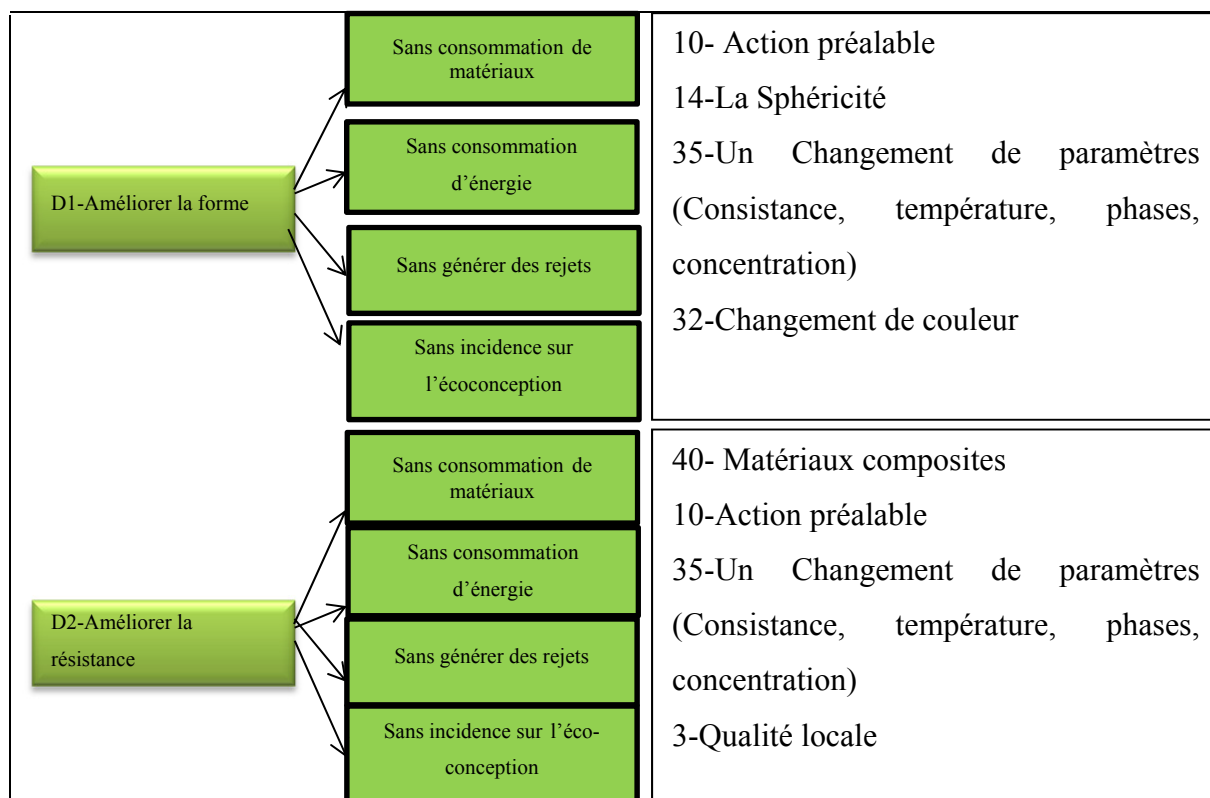


Figure 6.9 Comment améliorer les paramètres d'usage

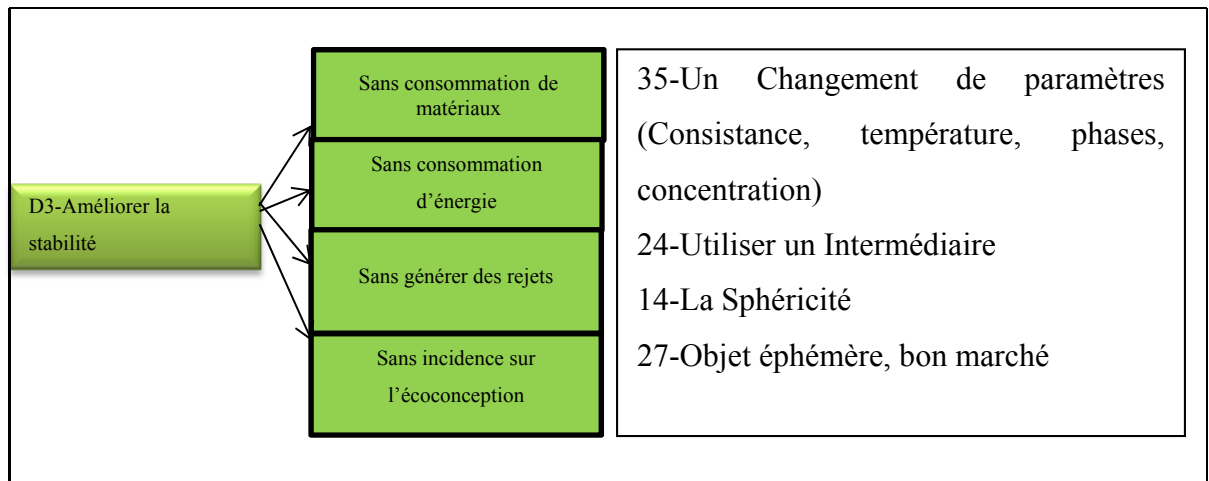


Figure 6.10 Comment améliorer les paramètres d'usage sans détérioration des paramètres d'éco-efficience (Suite).

6.2.2 Évaluation des solutions par rapport à la démarche préconisée

Avant le début de la compétition, une réflexion a été menée pour trouver le meilleur moyen de faire une évaluation pour l'utilisation de notre guide auprès des équipes, lors de la compétition. Pour rappel, l'utilisation de notre guide d'écoconception est une excellente opportunité pour vérifier les résultats de notre démarche méthodologique.

Deux possibilités se dégagent de cette réflexion :

- Préparer un formulaire comportant des questions en lien avec les outils utilisés (nature, degré d'appropriation, difficultés rencontrées, période d'utilisation, raison de non utilisation).
- Ne pas mettre à la disposition des équipes le formulaire à renseigner, mettre en ligne sur le site un guide d'écoconception et attendre les solutions préconisées à travers les résultats présentés sous forme de vidéos de 2 mn pour chaque projet. L'idée étant d'analyser la problématique, de faire ressortir les paramètres d'appréciation à améliorer, d'une part et à ne pas dégrader d'une autre part et par suite faire une comparaison entre la solution donnée par les équipes d'étudiants et les résultats de notre démarche.

De l'expérience des éditions précédentes, nous avons remarqué que les équipes d'étudiants ne prennent pas le temps de renseigner les formulaires, par manque de temps ou manque d'engouement ou dans d'autres cas, lorsque les formulaires sont remplis, leur exploitation reste problématique eu égard des réponses incomplètes ou incohérentes récoltés. C'est pour cette raison que nous avons retenu, la seconde possibilité, c'est-à-dire faire une évaluation en aval des projets. Nous avons retenu, pour vérification de notre démarche, les solutions données par les équipes lauréates à l'issue de la compétition.

6.2.3 La liste des défis retenus

Les défis retenus, parmi ceux présentés pendant la manifestation des 24H de l'innovation, sont en rapport avec l'écoconception. La liste est donnée sur le Tableau 6.2.

Tableau 6.2 Présentation succincte des défis retenus

| Numéro de défi | Intitulé du défi (Nombre d'équipes qui ont choisi le défi) | Présentation succincte du défi |
|-----------------------|---|--|
| 2 | Quartier propre (6) | Amélioration de la gestion intégrée des déchets, tout en impliquant le traitement des déchets et la réutilisation des composants électroniques. |
| 3 | Quartier participatif (6) | Un Quartier d'innovation, générateur d'un écosystème social, de l'innovation culturelle, pédagogique et technologique. |
| 7 | Réduction de la Grosseur des mâts du chapiteau (2) | Trouver des matériaux ou méthodes de fabrication qui permettront d'avoir la même capacité mais en ayant un volume plus petit. |
| 12 | Comment vendre à distance un produit (8) | Comment créer une interaction entre les consommateurs et l'entreprise afin de recréer ou simuler l'expérience client qui permettrait d'optimiser le processus d'achat ? |
| 13 | Comment favoriser le partage sécuritaire d'intersection (12) | Comment rendre ces intersections sécuritaires et assurer qu'elles sont partagées équitablement entre ces différents moyens de transport ? Comment rendre « transparentes » ces intersections pour les voitures, les piétons, etc. ? |
| 14 | Habitat intelligent (11) | Comment un habitat intelligent (les principes de maison intelligente + les principes de la « gamification » + autres) pourrait-il améliorer le niveau de vie de ses habitants ? |
| 17 | Comment réinventer les escaliers (22) | Les escaliers sont bons pour la santé et pour l'environnement (en comparaison avec les ascenseurs et les escaliers mécaniques). Or, nous utilisons peu les escaliers. |
| 19 | La salle de bain du futur (19) | Les possibilités sont grandes (miroir intelligent, rappels d'agendas, planchers chauffants) mais la différence entre la simple installation de ces gadgets et la création d'une expérience client utile est importante en terme de créativité. |

6.3 Les résultats

Sur les 8 projets sélectionnés au départ, cinq (5) d'entre eux sont primés. Certaines équipes qui ont travaillé sur les défis portant les numéros 2, 7, 13 et 19 et sont les vainqueurs de la compétition. Sur 20 défis proposés, nous nous sommes intéressés à 8 projets qui peuvent avoir une relation directe avec une solution éco-innovante et pour lesquels les résultats de notre démarche peuvent être appliqués. L'évaluation se fait en comparant les différentes solutions éco-innovantes avancées et les comparer à ce que l'on pourrait obtenir comme idée par utilisation de notre démarche méthodologique. Une présentation des défis retenus est donnée sur le tableau. Nous avons mentionné aussi le nombre d'équipes qui ont travaillé sur chaque défi.

Nous rappelons que certaines équipes vainqueur ont traité des défis identiques. Par conséquent notre vérification a été faite pour cinq défis (2, 7, 13, 17,19) sur les huit défis choisis initialement.

Afin de compléter notre vérification et couvrir l'ensemble des 8 défis sélectionnées et en relation avec l'écoconception, nous avons choisi de présenter un échantillon de solution abordée pour les défis restants et qui n'ont pas été primés (3,12,14).

6.3.1 1^{er} Prix à l'international: comment réinventer les escaliers (Défi 17)

Le problème est de trouver de nouvelles façons d'augmenter l'utilisation des escaliers afin de réduire l'utilisation des ascenseurs et de suite trouver des moyens éco-innovants pour monter/descendre.

L'évaluation pour ce défi, a été faite aussi pour 2 ou 3 équipes qui ne sont pas obtenus de prix.

Une synthèse des idées de solutions avancées par cette équipe sont données sur la Figure 6.11. Il s'agit notamment de mettre en place un compteur de calories dépensées, adopter

l'effet de couleurs et anticiper pour une récupération énergétique.

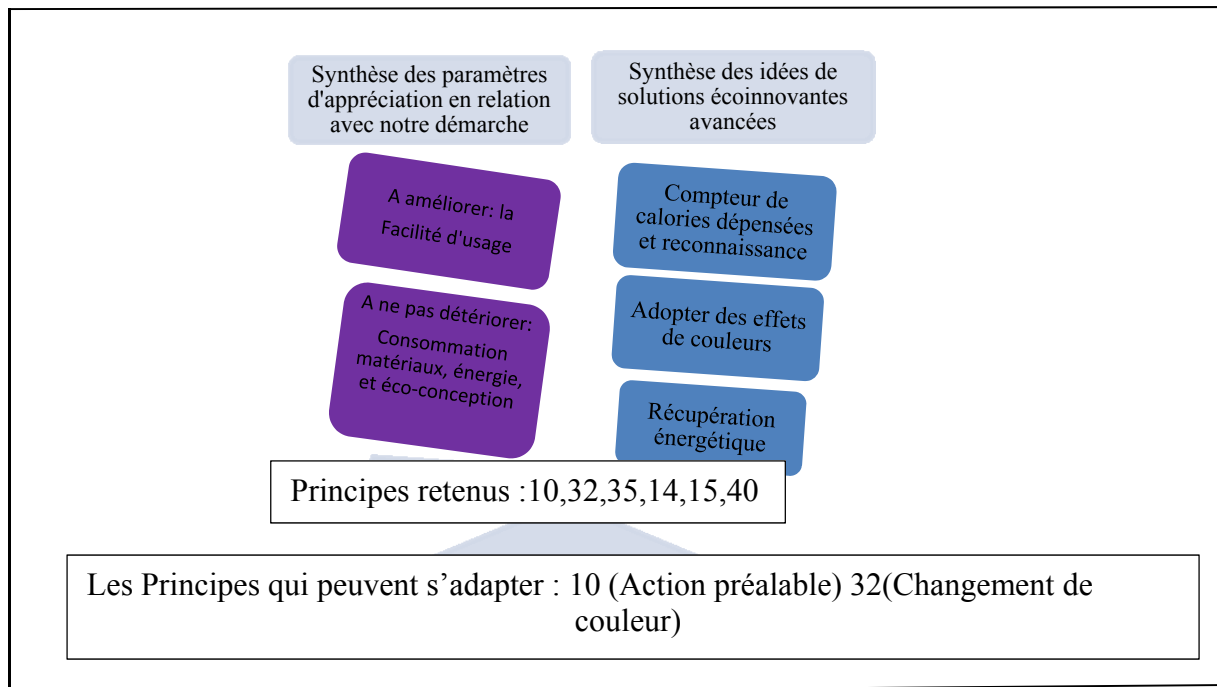


Figure 6.11 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

Les principes retenus en relation avec les résultats de notre démarche méthodologique sont en cohérence avec certaines idées de solutions éco-innovantes données.

Le principe 10, intitulé action préalable peut être adapté aux idées de mettre en place des compteurs de calories ou l'anticipation pour une récupération énergétique.

Le principe 32, intitulé changement de couleur est une illustration parfaite de l'idée de mettre en place des couleurs pour une meilleure ambiance visuelle dans les escaliers.

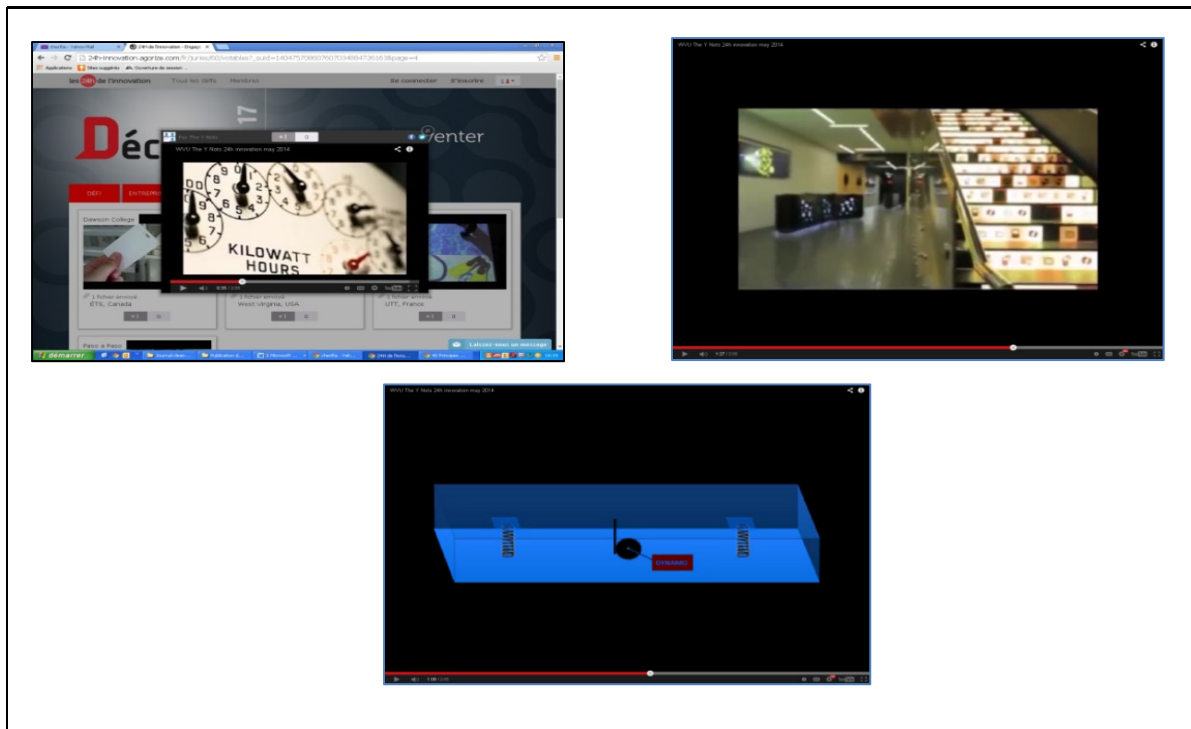


Figure 6.12 Photos vidéo relatives aux solutions préconisées.

Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

3^{ème} Prix à l'international

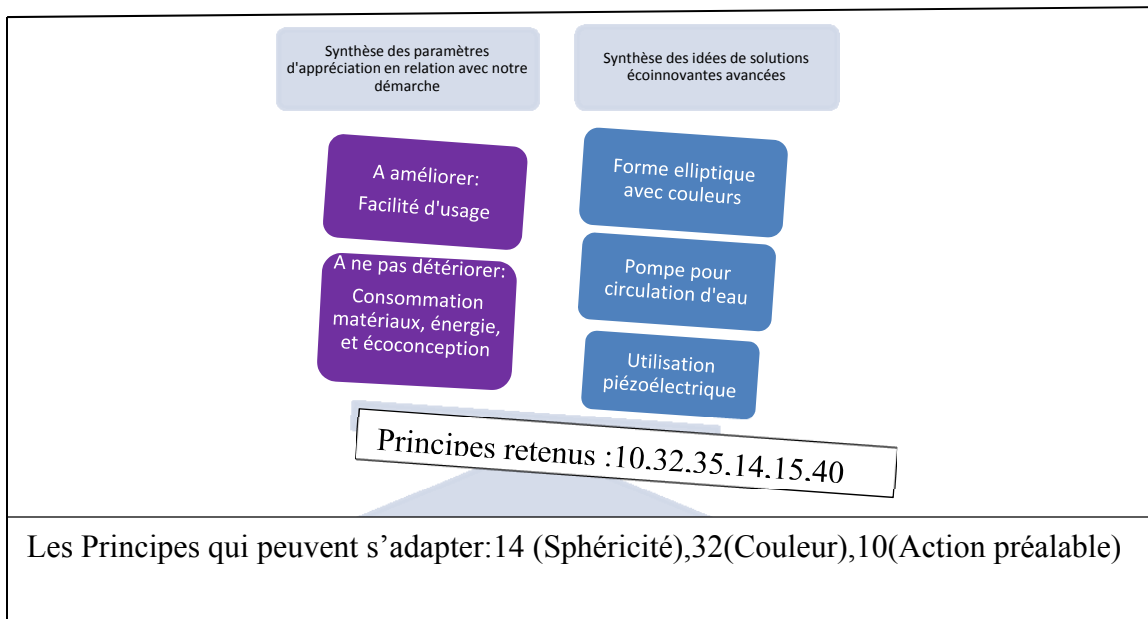


Figure 6.13 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

La forme elliptique ainsi que les couleurs comme solutions proposées sont parmi les résultats de notre démarche qui recommande le principe 14 et le principe 32 pour ces caractéristiques.

L'idée d'une circulation d'eau à partir de la récupération piézoélectrique peut faire l'objet du principe 10, d'une action préalable préconisée par notre démarche.

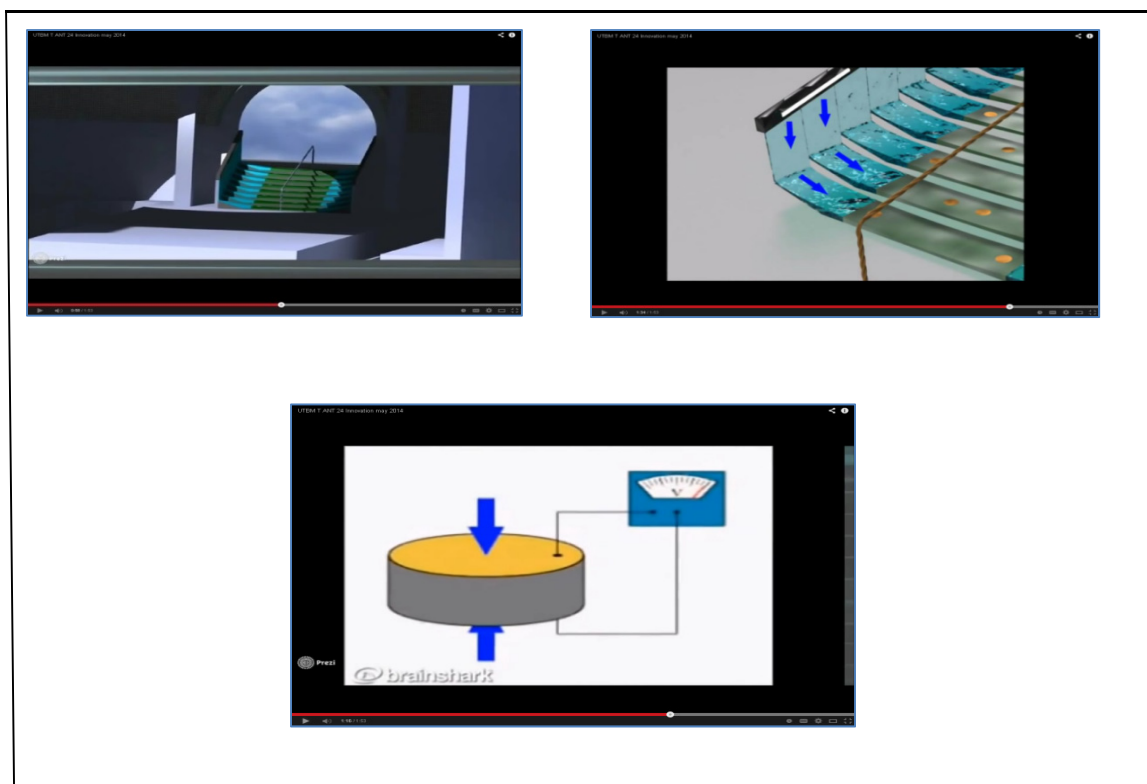


Figure 6.14 Photos vidéo relatives aux solutions préconisées.

1^{er} Prix Amérique du sud

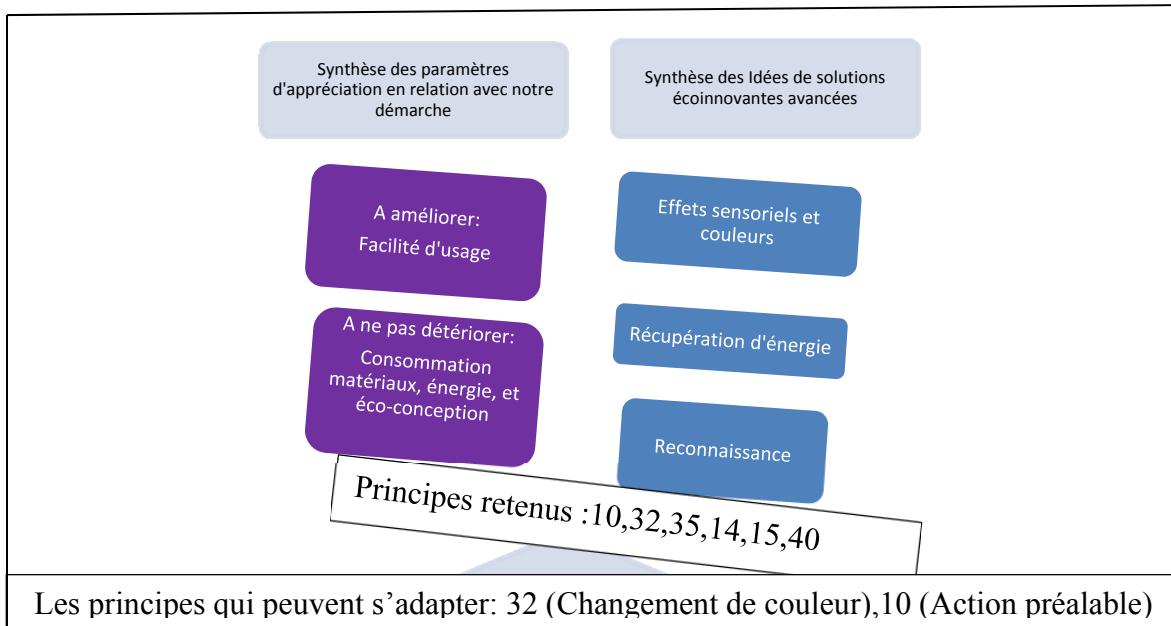


Figure 6.15 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

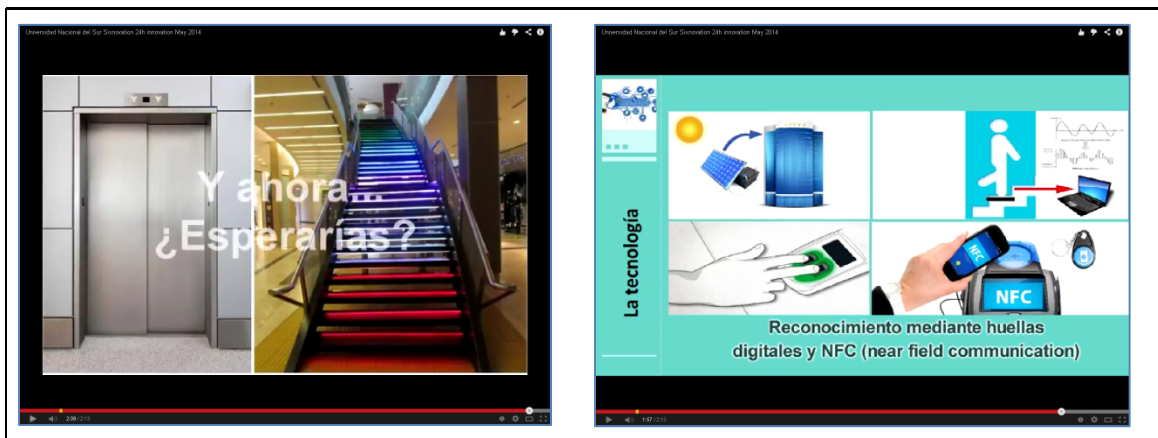


Figure 6.16 Photos vidéo des différentes solutions écoinnovantes présentées.

Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

Les idées avancées par l'équipe obéissent au principe 32, se rapportant aux couleurs et au principe 10 de l'action préalable pour une récupération énergétique et son utilisation dans diverses applications.

6.3.2 2ème Prix à l'international: réduction de la grosseur des mâts du chapiteau (Défi 7)

La problématique posée est de trouver des matériaux ou méthodes de fabrication qui permettront de garder la même capacité mais en ayant un volume plus petit. Cette amélioration aura un impact sur la visibilité de certains sièges et augmentera leurs valeurs lors de la vente des billets au cirque.

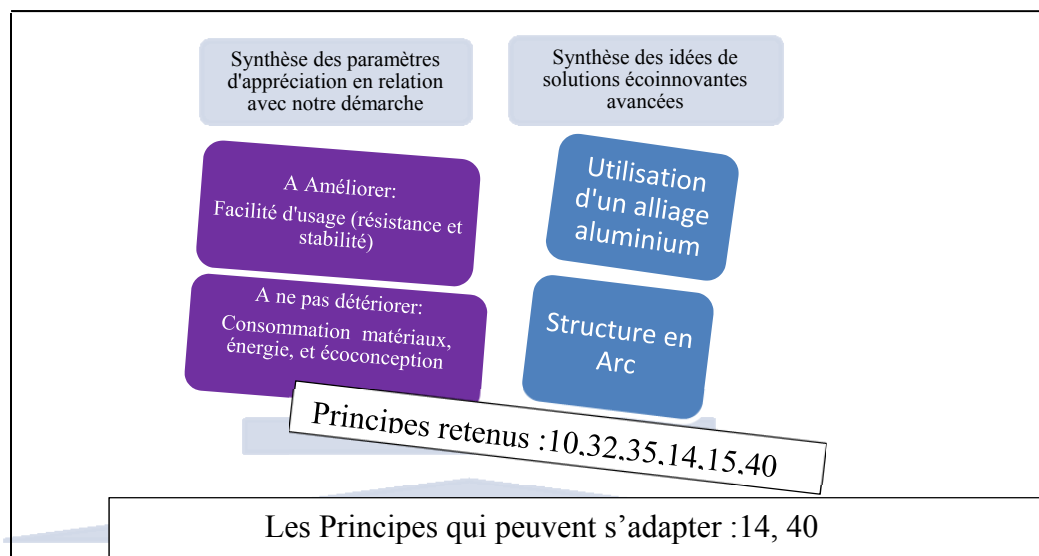


Figure 6.17 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

L'idée de solution donnée par l'équipe gagnante peut être décomposée en deux :

- Retravailler la structure en utilisant un alliage d'aluminium, moins lourd de 40% au lieu de l'alliage d'acier.
- Adopter une structure en 2 arcs reliés entre eux au sommet, montés à terre puis s'ouvrant en pivotant. Un système imbriqué permet d'installer la toile.

En résumé ce dispositif pouvait être prévu par nos résultats, puisque parmi les principes retenus pour cette situation, le principe 14 (Sphéricité), dans ce cas la forme est en arc et le principe 40 (Matériaux composites), dans ce cas le changement d'un alliage par un autre plus léger.

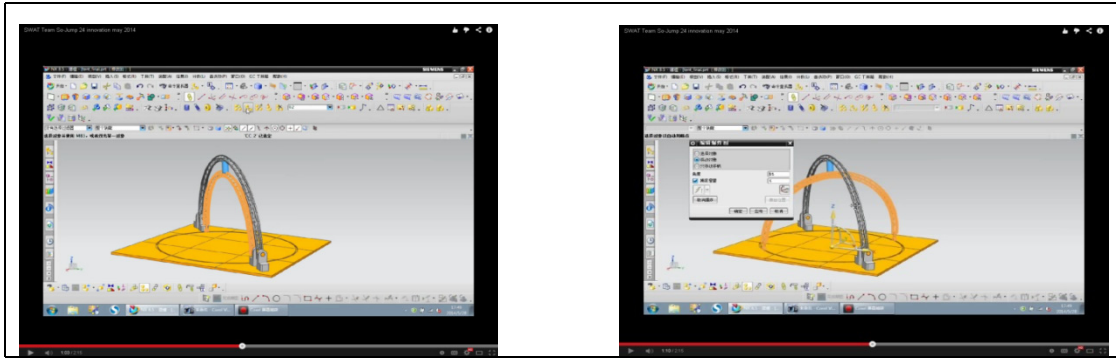


Figure 6.18 Photos vidéo de la solution éco-innovante en Arc en ciel.

6.3.3 1^{er} Prix Amérique du nord : Comment favoriser le partage sécuritaire et équitable d'intersections entre Automobilistes, piétons, cyclistes, etc. ? (Défi 13)

Le défi présenté est comment rendre des intersections sécuritaires et assurer qu'elles sont partagées équitablement entre ces différents moyens de transport ? Comment rendre « transparentes » ces intersections pour les voitures, les piétons, etc. ?

La Figure 6.19 donne une synthèse des paramètres d'appréciation par rapport à notre démarche et une synthèse des idées avancées par les équipes pour répondre au défi.

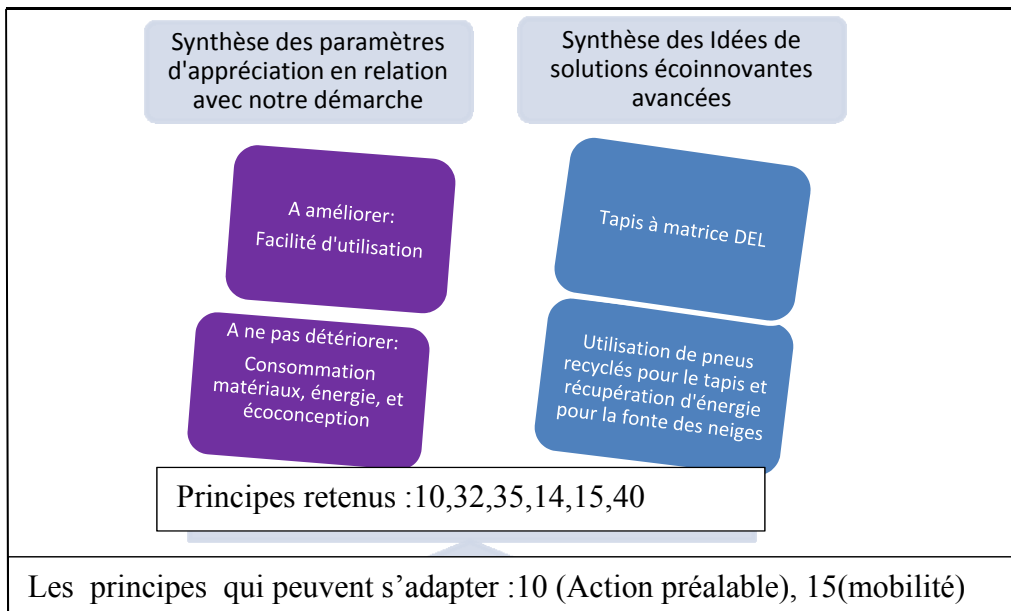


Figure 6.19 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

La solution au défi est de mettre en place un système intelligent de gestion des intersections. Un tapis à base de pneus recyclés et équipé d'une matrice *Del* et une caméra à reconnaissance des formes installée à l'intersection. L'information traitée par la caméra est envoyée à l'affichage. Dans les sillons, la partie supérieure représente les bandes de Del et la partie inférieure représente les circuits hydrauliques de transfert de chaleur. Ce système de transfert d'énergie thermique permet de réchauffer la surface de la route en hiver afin faire fondre la neige et d'augmenter l'adhérence des véhicules et utiliser la chaleur emmagasinée par l'asphalte pour fournir en eau chaude les bâtiments avoisinants. Les principes qui peuvent s'adapter aux idées de solutions avancées s'identifient aux principes 10 et 15 choisis parmi d'autres principes retenus dans notre matrice. Le principe 10 de l'action préalable regroupe l'idée de mettre en place une caméra à Del ainsi qu'un tapis à base de pneus recyclés. Puis grâce au principe 15, qui symbolise la mobilité, une conception optimisée du dispositif permet d'utiliser le système pour le déneigement et la récupération d'énergie pour alimenter les bâtiments avoisinants.

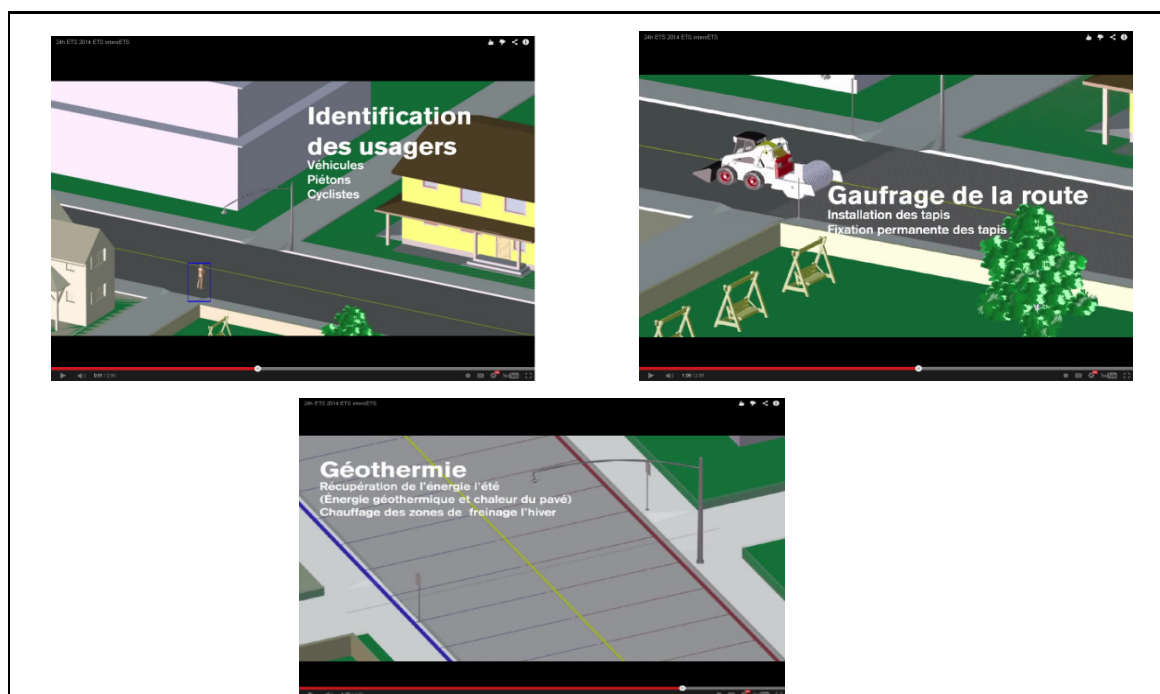


Figure 6.20 Photos vidéo de la solution éco-innovante.
Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

1er Prix Europe

La Figure 5.19 donne les résultats comparatifs de notre démarche avec l'ensemble des idées avancées : une action préalable de récupération d'énergie sur les bordures de route peut alimenter le système de détection et de signalisation routière. Ceci obéit au principe 10 de l'action préalable. De plus et afin de partager les intersections entre les automobilistes et les piétons un bornage des zones avec couleur est une proposition qui obéit au principe 32 de changement de couleur.

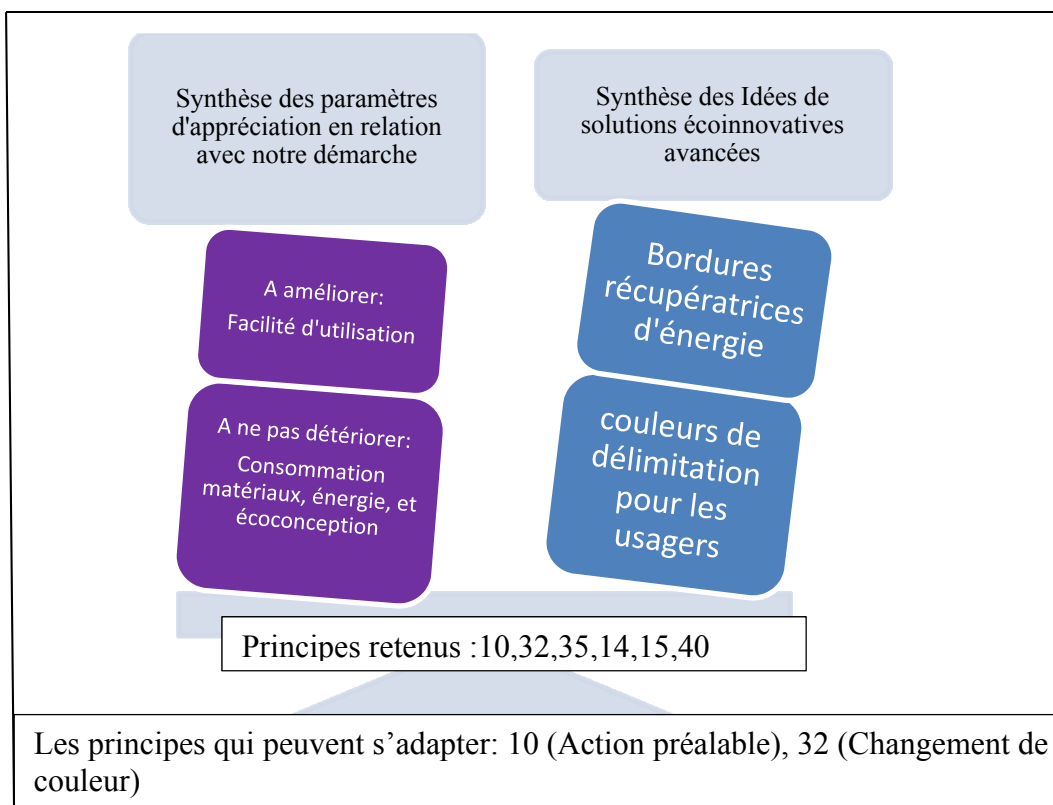


Figure 6.21 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

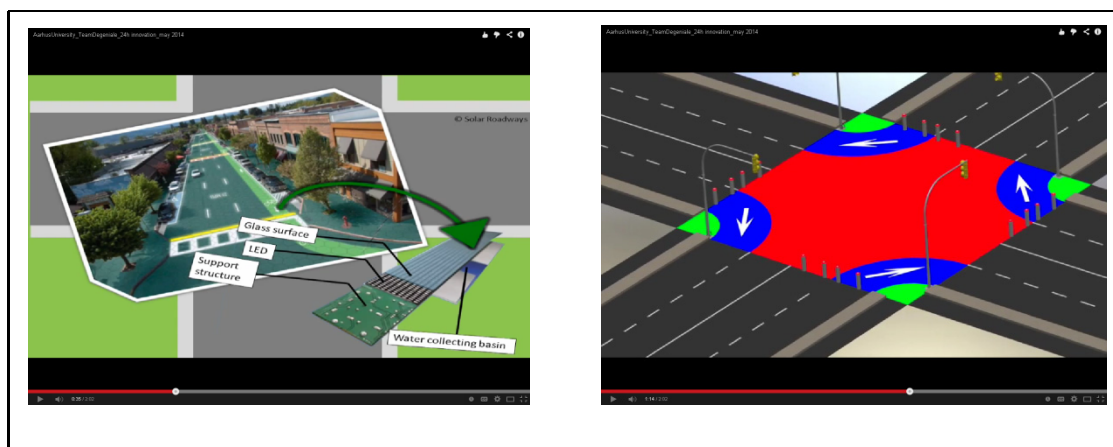


Figure 6.22 Photos vidéo de la solution écoinnovante .

Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

1er Prix jury local

La Figure 6.23 montre, d'une part Synthèse des paramètres d'appréciation en relation avec notre démarche et d'autre part les idées de solutions éco-innovantes avancées par l'équipe gagnante.

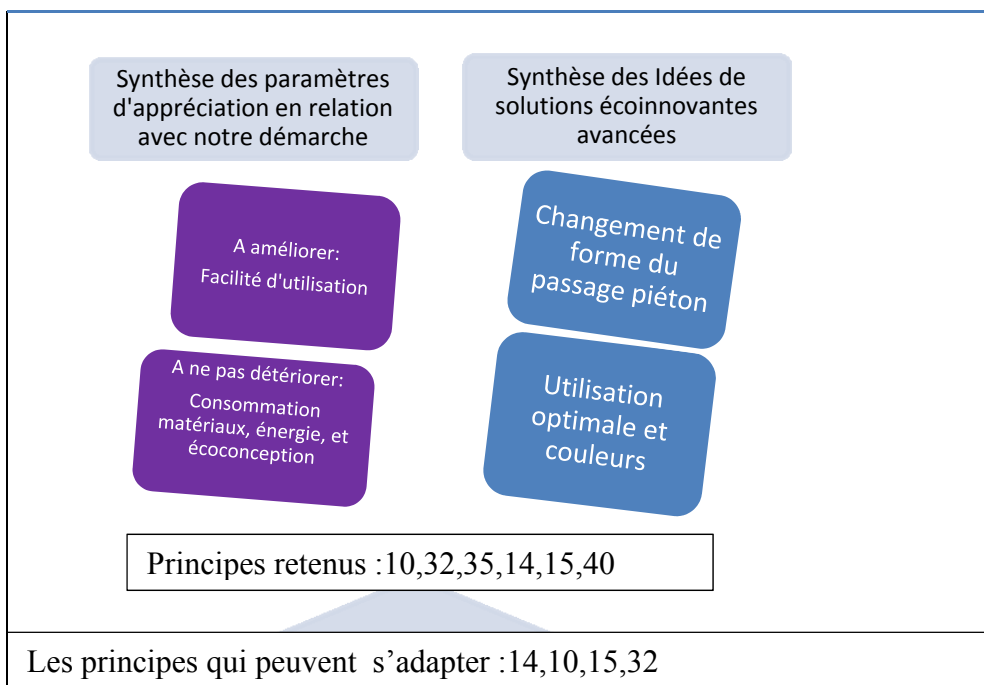


Figure 6.23 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

La première idée étant le changement de la forme du passage piéton pour s'adapter aux mauvaises habitudes des piétons. Ici intervient le principe 14, qui stipule la sphéricité ou le changement de formes linéaires en courbes ou aussi des courbes en sphères. Un nouveau tracé du passage est donné en figure. Il permet au piéton de traverser en diagonale et en toute sécurité. Une seconde idée est l'utilisation de passages qui génèrent de l'électricité, avec une autonomie en énergie et utilisés pour l'éclairage des passages piétons et ayant des propriétés antigivre et antidérapant. Cette idée est en cohérence avec le principe 10 de l'action préalable et du principe 15 de la mobilité qui permet une optimisation des caractéristiques et des propriétés du procédé pour assurer diverses fonctions liées à la sécurité du citoyen. Enfin le concept de panneaux publicitaires avec couleur répond au principe 32 de changement de couleur.



Figure 6.24 Photos vidéo de la solution éco-innovante.

Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

6.3.4 1^{er} Prix jury local : Comment réinventer la salle de bain du futur (Défi 19)

Les possibilités sont grandes (miroir intelligent, rappels d'agendas, planchers chauffants) mais la différence entre la simple installation de ces gadgets et la création d'une expérience client utile est importante en terme de créativité.

Parmi les propositions d'idées, nous retenons le contrôle de la puissance de jet, qui débitera de l'eau au besoin de l'utilisateur grâce à la présence de détecteur de mouvements. Il s'agit d'une action périodique qui répond bien au principe 19. Les autres idées peuvent être en concordance avec le principe 10 de l'action préalable pour anticiper sur les idées novatrices de la salle de bain du futur (analyse d'urines, informations générales etc...)

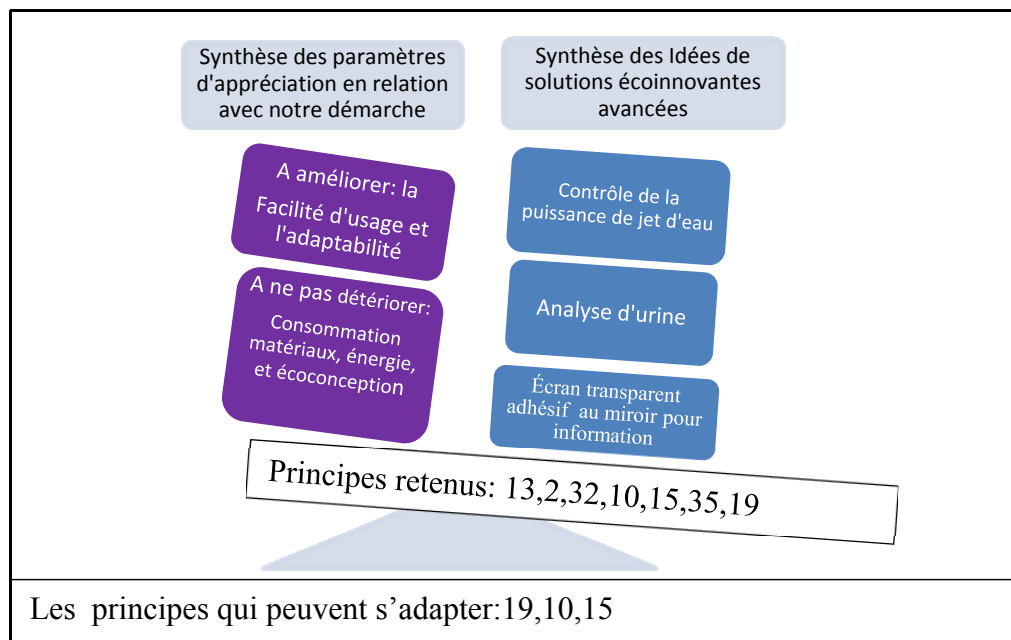


Figure 6.25 Résultats comparatifs par rapport à nos prévisions.

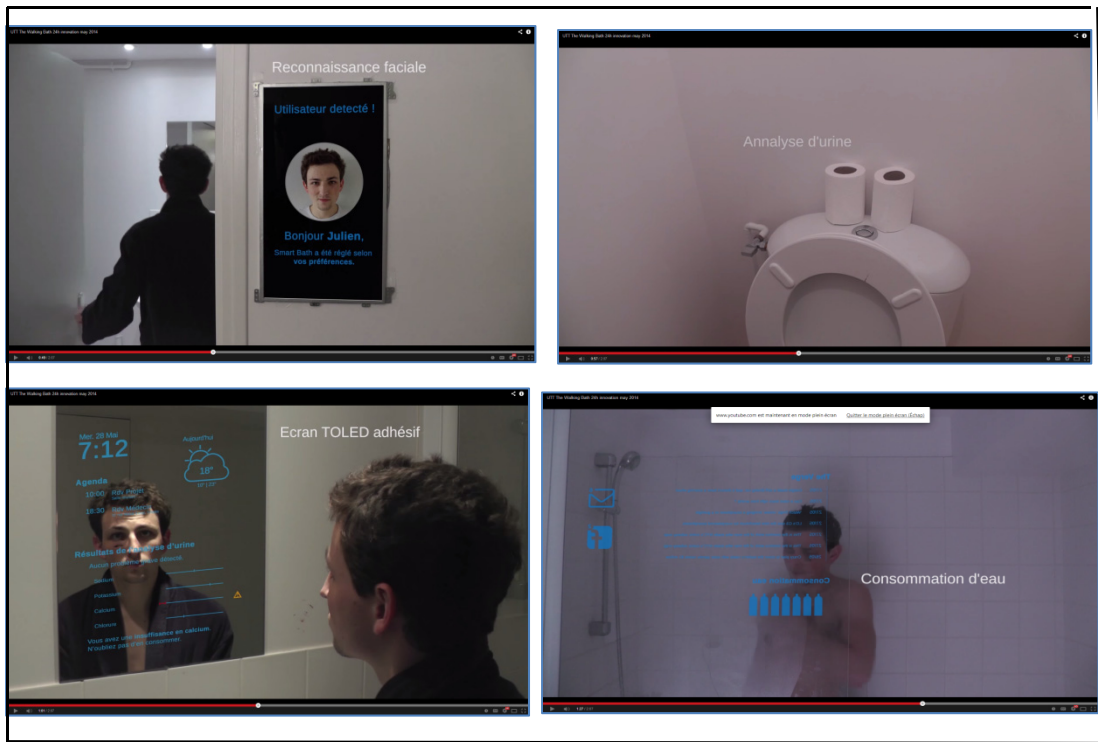


Figure 6.26
Photos vidéo de la solution éco-innovante.
Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

6.3.5 Autres défis d'éco-innovation non primés mais étudiés

Nous avons considéré les projets primés lors de la compétition et en rapport avec l'éco-innovation. D'autres défis choisis au départ et en relation avec notre thématique n'ont pas été primés. Afin d'élargir le champ de vérification de nos résultats, nous avons considéré un échantillon de ces projets en considérant les idées avancées par rapport à nos prévisions d'idéation par utilisation de EcaTriz. Les résultats sont donnés en Annexe IX.

Synthèse

Les défis choisis sont en rapport avec l'écoconception et le développement durable en général. La démarche méthodologique utilisée nécessite la reformulation du problème et des objectifs à atteindre, de sorte que les paramètres contradictoires apparaissent clairement. L'application, à posteriori de nos résultats de la marce écologique EcaTriz, montre une similitude dans les solutions qui peuvent être prévues par les principes inventifs obtenus et

les idées de concept avancées par les équipes qui ont participé à la compétition.

Il faudra, cependant rappeler que beaucoup de principes inventifs donnés par la matrice peuvent s'écarter totalement de l'idée qui peut être la solution réelle et sans compromis au problème posé. Par conséquent, l'utilisateur aura souvent besoin d'adapter le meilleur levier de solution ou le principe inventif le plus proche de la situation considérée.

CHAPITRE 7

SYNTÈSE DES TRAVAUX ET DISCUSSIONS

Ce chapitre est une synthèse des travaux de recherche réalisés à l'École de technologie supérieure. La thématique de recherche présentée traite de la problématique de l'application et l'appropriation des connaissances environnementales en général, et de l'écoconception en particulier au stade préliminaire de conception, c'est-à-dire durant la phase de recherche de concept, notamment lors des séances de créativité.

Au stade du processus de conception, l'intégration des outils d'écoconception est une tâche complexe pour les utilisateurs. Des outils ont déjà été proposés, cependant, l'analyse de ces outils souligne différents types de problèmes. On peut citer :

- Absence de données fiables ou variables dans l'espace et dans le temps, lorsqu'elles existent.
- Non appropriation par les utilisateurs à cause du niveau d'expertise.
- Absence ou peu d'analyse du produit ou procédé lors des séances de créativité.

Les résultats d'une évaluation environnementale peuvent être traduits en axes de conception mais ces derniers peuvent être contradictoires. Alors il est souvent nécessaire de se démarquer de l'analyse environnementale pure pour prendre une dimension plus large dans le cadre de l'éco-innovation.

C'est dans cette optique que nous avons axé notre travail sur le développement d'une méthodologie d'aide à la génération de solutions éco-innovantes.

La méthodologie proposée repose sur la résolution de problèmes inventifs au moyen de la méthode TRIZ. A partir de la matrice des paramètres technologiques contradictoires, et par analogie, nous avons construit une nouvelle matrice basée sur des paramètres d'éco-efficience en relation avec ces paramètres.

Les atouts et les lacunes de TRIZ en écoconception ont été identifiés sur l'analyse de 7 brevets publiés et deux projets expérimentaux et en rapport avec l'écoconception d'une part et par la recherche des similitudes entre les solutions développées par les équipes participantes à la compétition des 24H de l'innovation et les résultats qui ont découlé de notre démarche méthodologique, d'autre part.

L'adaptation de TRIZ a été élaborée puis testée sur ces exemples de projets. Notre recherche est fondée sur une méthode innovante d'écoconception basée sur TRIZ et complétée par un module de sensibilisation sous forme d'un guide méthodologique.

7.1 But de la Recherche

Pour rappel, notre but était de mettre en place une démarche pour la recherche d'une méthode d'écoconception innovante. Cet objectif découle de trois problématiques recensées :

- Il existe beaucoup d'outils d'écoconception, mais il y a une difficulté d'appropriation par les utilisateurs.
- Les outils ne prennent pas en compte, en général, la dimension utilisateur.
- La présence de contradictions lors d'une évaluation environnementale.

L'étude des outils d'écoconception nous a permis d'identifier des données pertinentes d'analyse environnementale du produit (impacts environnementaux et situations de vie du produit).

La première partie du travail a porté sur le choix de critères pour une classification des outils d'écoconception selon le degré d'appropriation par l'utilisateur. Le choix d'une matrice simplifiée tenant compte du cycle de vie et d'une analyse multicritère peut être une solution pour l'évaluation environnementale du produit. Cette solution nous a parue logique, puisque du point de vue de la validité scientifique, la matrice proposée est globale et multicritère. Ce dernier aspect est renforcé par la prise en considération de deux nouveaux critères : les paramètres d'utilisation et l'appropriation de l'écoconception par l'utilisateur. L'aspect

qualitatif de l'évaluation paraît simple et à la portée d'un non expert. Il peut être, néanmoins un point négatif. L'amélioration des résultats est tributaire d'une analyse approfondie et la prise en charge du questionnaire.

L'enjeu de cette partie a été de faire une hiérarchisation des impacts et les connaissances environnementales permettant d'analyser et d'évaluer un produit au stade de recherche de concept. Plusieurs auteurs ont proposé des outils d'écoconception et d'évaluation simplifiée, avec des approches matricielles, graphiques ou de check-lists dans le but de rendre moins complexe l'approche globale de la vision écoconception.

À ce stade les résultats obtenus peuvent être contradictoires, lorsqu'il s'agit de choisir des options d'amélioration environnementales. Le concepteur peut être bloqué par des options choisies et ce à cause des transferts de pollution.

À partir d'une matrice utilisée pour surmonter des problématiques contradictoires en technologie, une nouvelle matrice a été construite. Les paramètres d'ingénierie en relation avec les paramètres d'éco-efficience sont fusionnés dans ces derniers. La matrice passe alors d'une dimension 39X39 à une dimension 5X5.

7.2 Travaux réalisés

A partir des situations problématiques évoquées précédemment, les travaux réalisés ont porté sur :

- Une recherche approfondie des outils d'écoconception utilisés.
- La mise en place des critères de classement des outils en tenant compte de l'utilisateur.
- Le choix des facteurs d'éco-efficience en tenant compte de l'utilisateur en amont (au stade de la conception) et en aval (utilisateur du procédé ou produit).

- Le choix d'une stratégie d'hierarchisation des impacts en passant par une matrice simplifiée et à la portée d'un non expert.
- L'appui sur une méthode de génération d'idées pour surmonter la difficulté de conflits pouvant survenir lors de choix de conceptions écologiques.
- Un module de sensibilisation ou un guide simplifié qui pourra générer des idées novatrices auprès du concepteur.

7.3 Apport du travail de recherche

Dans le but d'améliorer la créativité dans la phase de conception préliminaire, nous avons axé notre travail sur la recherche d'une méthodologie d'aide à la génération de solutions éco-innovantes.

La méthodologie proposée repose sur la résolution de problèmes inventifs au moyen de la méthode TRIZ. A partir de la matrice des paramètres technologiques contradictoires, et par analogie, nous avons construit une nouvelle matrice basée sur des paramètres d'eco-efficience en relation avec ces paramètres.

7.3.1 Apport dans le domaine scientifique

TRIZ étant une méthode systématique d'innovation basée sur l'analyse de plusieurs millions de brevets et près de 30 ans de pratique, d'abord en Union Soviétique, puis aux Etats-Unis, ces dernières années. On peut exploiter certaines bases de son fonctionnement dans le domaine technologique et les appliquer dans le domaine de l'écologie.

L'objectif de notre travail étant de valider l'intérêt de TRIZ en écoconception et de compléter cette méthode pour maximiser ses apports dans ce contexte.

Les résultats obtenus par l'application de TRIZ en écoconception ont été testés :

- Sur l'analyse de produits éco-conçus et brevetés d'une part;

- Par l'application à certains projets en relation avec l'écoconception lors du déroulement de la compétition des 24H de l'innovation.

La capacité de TRIZ à transformer des contradictions en opportunités d'innovation a été évaluée. Une première adaptation de TRIZ est alors élaborée par la mise en œuvre d'une matrice éco-innovante simplifiée qui peut être utilisée pour trouver des solutions à des situations contradictoires dans le domaine de la conception respectueuse de l'utilisateur, en particulier et de l'environnement en général.

7.3.2 Apport pour l'industrie et la technologie

À chaque problématique industrielle, la recherche de solution technique est une étape très importante. La complexité des processus qui consiste à imaginer des solutions qui doivent répondre à certains critères imposés apparaît et les concepteurs sont souvent confrontés à surmonter ces difficultés. Dès lors, il faudra peut être «réfléchir en dehors de la boîte » ou, en d'autres termes, en dehors de ce qu'on connaît habituellement et essayer d'inventer la solution. A ce stade, il faudra produire des idées pertinentes. Ceci peut être fait à partir des réunions de groupe à travers des outils de recherche d'idées tel que le brainstorming.

Les idées générées par ce genre d'outil peuvent être incomplètes puisque dans la plupart des cas les participants peuvent être confrontés à une inertie psychologique en suivant naturellement leurs habitudes.

Afin de surmonter ce qui peut arrêter la production d'une solution innovante, l'idée de modéliser le problème technique par une ou plusieurs contradictions pourrai, grâce à TRIZ, surmonter la difficulté, donner la solution sans compromis. Ceci est rendu possible car tous les problèmes présentent une forte similitude sur le fond malgré la diversité des industries dont ils sont issus.

La matrice Ecatrix est un exemple de résolution de problématiques industrielles, notamment en relation avec l'utilisation rationnelle des matériaux et des ressources, de la diminution de

la consommation énergétique, de réduction de rejets générés ainsi la prise en charge des préoccupations de l'utilisateur. Cette plateforme simple d'utilisation, permettra un gain de temps, des économies de production dans un esprit de conception éco-innovante.

7.3.3 Apport pour la pédagogie

Les résultats obtenus à partir de la matrice TRIZ constituent une excellente ressource pour les groupes ou équipes d'étudiants qui doivent présenter des solutions éco-innovantes à des défis. La conception d'un guide outil pour soutenir les équipes d'idéation en conception éco-innovante en est la parfaite illustration.

Notre démarche EcaTRIZ, à travers la matrice résultante, repose sur la mise en évidence des contradictions à surmonter. Cet outil a l'originalité de conjuguer les capacités créatives de l'individu avec les démarches analytiques et rationnelles de l'ingénierie permettant ainsi d'augmenter le potentiel d'invention.

Un guide qui synthétise la démarche s'adresse aux personnes désireuses d'avoir une vision globale de EcaTRIZ, appliquée à l'ingénierie, et des différents leviers à mettre en œuvre sans pour autant aller jusqu'à un niveau d'expert.

Une trousse à outil est proposée pour aider les équipes qui participent à élaborer des solutions éco-innovantes dans le cadre de la compétition des 24H de l'innovation.

En effet, chaque situation contradictoire renvoie à une série de principes inventifs dont les intitulés sont détaillés pour que le lecteur puisse comprendre leur utilisation et les objectifs que l'on cherche à atteindre en les employant.

7.4 Limites de la démarche méthodologique

Notre démarche méthodologique présente un avantage de simplicité de façon à ce que son appropriation soit facilitée. Cependant si l'étape d'évaluation des impacts n'est pas très problématique, il n'en demeure pas moins lorsqu'il s'agit de gérer des conflits en matière de choix de conception environnementale, au niveau de l'étape de génération d'idées que nous avons voulu tester pour compléter et conforter les choix de conception. Nous rappelons que la méthode TRIZ, même utilisée dans le domaine technologique, peut ne pas répondre à certaines situations de problèmes. Les principes inventifs résultant de certaines situations conflictuelles ont été obtenus à partir d'expériences vécues et publiés sous forme de brevets.

Dès lors, la matrice proposée, peut ne pas être d'application pour donner la solution adéquate. Pour le concepteur ou l'utilisateur, de part le nombre de principes inventifs proposés, certains d'entre eux peuvent ne pas contribuer à la solution.

De plus, les résultats obtenus peuvent être complétés et soutenus, si nécessaire par d'autres méthodes complémentaires à utiliser pendant des séances de groupes pour conforter la solution préconisée.

7.5 Perspectives de recherche

Afin de mieux adapter notre outil méthodologique et sa facilité d'appropriation par les entreprises et utilisateurs en général, les utilisateurs doivent :

- Comprendre comment les impacts sont générés et savoir le quantifier : si pour certains, il s'agit d'une contrainte imposée par des impératifs de réglementation, pour d'autres, l'amélioration du produit ou du procédé est une priorité qui garantira la survie de leur institution. Les méthodes de détermination et de hiérarchisation, en fonction des moyens existants est une des conditions qui peut influencer sur le processus de décision afin de gérer les impacts des activités de chaque entreprise sur l'environnement.
- Faire une analyse détaillée des besoins du consommateur. Ceci pourra être un atout pour mieux cerner les paramètres techniques qui peuvent être en conflits, lors des choix de paramètres prioritaires.

La démarche préconisée est loin d'être complète. En effet, les résultats de notre démarche montrent une multitude de leviers à actionner (sous forme d'une multitude de principes inventifs). Notre but était de guider le concepteur à trouver une solution à un problème tout en ciblant des actions prioritaires, lesquelles pourront l'aider à retreindre son champ de réflexion. Un outil d'aide à la décision approprié peut aider le concepteur dans sa recherche de mise en œuvre et finalisation de son concept.

CONCLUSION

La démarche méthodologique présentée dans ce mémoire a été proposée afin d'être un support aux outils d'écoconception déjà existants.

Il est intéressant de noter que ce type d'approche pourrait être adapté afin de répondre au besoin plus général de mettre en relation les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un procédé par rapport à son utilité pour les utilisateurs. En effet, au fur et à mesure que le nombre d'études réalisées augmente, le besoin d'utiliser et de communiquer efficacement les résultats d'ACV dans le contexte de prise de décisions multicritères est de plus en plus mis en lumière. L'approche matricielle validée en technologie, à travers TRIZ trouve actuellement une application en écologie à travers la matrice EcaTriz qui a été développée dans ce projet et constitue donc, une voie intéressante pour répondre à ce besoin de résolution de propositions de solutions contradictoires. Le travail de recherche a été une opportunité pour :

- La mise en œuvre d'une méthodologie d'aide à la génération d'idées de solutions éco-innovantes pour améliorer la créativité dans la phase préliminaire de conception tenant compte de l'environnement.
- Tester la validation de TRIZ en écoconception
- Proposer une trousse à outils ou module de sensibilisation pour les utilisateurs, notamment des groupes qui participent à des séances d'idéation.

Le travail d'adaptation de la matrice TRIZ en outil d'aide à l'éco-innovation Eca Triz a conduit, très rapidement, à des besoins d'itérations entre la théorie d'un outil d'éco-innovation idéal et les pratiques possibles lors de sessions éco-créatives.

Les applications sur des brevets d'écoconception publiés ainsi que sur les projets, lors de la compétition des 24H de l'innovation ont montré une similitude entre les idées qui sont derrière les concepts et les résultats qui ont pu être obtenus par utilisation de notre démarche.

Le développement d'un tel outil qui peut s'insérer dans une volonté de développer une activité d'éco-innovation au niveau de la recherche et qui pourra être destiné aux PME qui sont des chantiers par excellence avec une possibilité de développer leur produit et une excellente opportunité pour poursuivre les tests et faire évoluer l'outil. C'est l'une des principales recommandations qui peut être formulée à l'issue de ce travail.

ANNEXE I

MATRICE GUIDE D'ÉCOCONCEPTION

Chaque élément de la matrice est présenté sous forme d'un score (de 0 à 5, 5 étant la meilleure situation). Cette évaluation peut être faite suite à la réponse donnée pour chacune des questions de la case (plusieurs types de questions pour chaque rubrique, cependant et afin que le concepteur l'adapte au cas de son produit, il sera nécessaire de choisir une question et l'encrer pour sa prise en considération.

La première ligne de la matrice est sous forme d'enquête par rapport à des situations organisationnelles de l'entreprise par rapport aux questions environnementales.

Les questions de la ligne 1 sont facultatives et peuvent être prises en considération par les concepteurs d'entreprises dont la phase de préfabrication du produit dépend d'une phase amont.

N.B : Les réponses aux questions de la rubrique 2 sont facultatives.

Préfabrication-matériaux

-Quelle est la part des entreprises qui fournissent les matériaux qui constituent le produit et qui ont un système de management environnemental? (encercler une réponse)

Préfabrication-Energie

-Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent l'énergie pour la fabrication du produit et qui ont des pratiques environnementales de conservation de l'énergie? (encercler une réponse).

Préfabrication-Rejets

-Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent des éléments constitutifs du produit et qui répondent aux normes ISO 9000 et ISO 14000 (encercler une réponse).

Préfabrication-Paramètres d'utilisation

-Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent des éléments constitutifs du produit et qui respectent les paramètres d'utilisation.

Préfabrication-capacité éco-concevoir ou appropriation

-Quel est le pourcentage des entreprises qui fournissent les éléments constitutifs du produit et qui peuvent avoir une politique d'écoconception au sein de leur structure (encercler une réponse).

| Pourcentage (%) | Correspondance en points | Nombre de points | | | | |
|-----------------|--------------------------|------------------|---------|--------|------------------------|---------------|
| | | Matériaux | Énergie | Rejets | Paramètres utilisation | Appropriation |
| 0 ou inconnue | 0 | | | | | |
| 0-10 | 1 | | | | | |
| 11-25 | 2 | | | | | |
| 26-50 | 3 | | | | | |
| Sup 50 | 5 | | | | | |

Production –matériaux

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Utilisation de matériaux recyclés | | |
| Limiter ou éliminer les produits dangereux | | |
| Réduction de la quantité de matériaux utilisés | | |
| Total | | |

Production -Energie

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Utilisation d'énergie propre | | |
| Minimisation de l'utilisation de l'énergie | | |
| Utilisation de cogénération, échange de chaleur (récupération énergie gaspillée) | | |
| Total | | |

Production-Rejets

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Minimisation des rejets dans l'air, l'eau et le sol | | |
| Minimisation des consommables | | |
| Production d'éléments qui contribuent au changement climatique | | |
| Total | | |

Production-Paramètres d'utilisation

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Génération de bruits dans les ateliers | | |
| Génération d'odeurs | | |
| Fabrication dans des conditions ergonomiques pendant tout le processus | | |
| Total | | |

Production-Appropriation de l'écoconception

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Engagement de l'entreprise dans le processus d'écoconception | | |
| Total | | |

Transport et emballage-Matériaux

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Minimiser le nombre de types de matériaux utilisés dans l'emballage | | |
| Réduction et utilisation de matériaux d'emballage moins nocifs | | |
| Total | | |

Transport et Emballage-Energie

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Utilisation de moyens de transport efficaces et ayant de faibles impacts | | |
| Penser vous ne pas faire de transport à vide | | |
| Total | | |

Transport et Emballage-Rejets

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Réutilisation de l'emballage de transport dans les installations de l'entreprise | | |
| Rejets dans la nature sans possibilité de récupération | | |
| Total | | |

Transport et Emballage - Paramètres d'utilisation

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Facilité de transporter le produit de part la forme de l'emballage | | |
| Nuisance occasionnée par l'emballage | | |
| Total | | |

Transport et Emballage -Appropriation de l'écoconception

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Adaptation de la politique d'écoconception | | |
| Total | | |

Utilisation-Matériaux

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Impact environnemental minimal par rapport aux matériaux | | |
| Disponibilité de pièces pour réparation | | |
| Disponibilité d'information sur les types de résines pour les plastiques | | |
| Total | | |

Utilisation-Energie

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Consommation d'énergie | | |
| Utilisation des sources d'énergie renouvelable | | |
| Possibilité de position veille lorsque le produit n'est pas utilisé | | |
| Total | | |

Utilisation-Rejets

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Produit des rejets lors de son utilisation | | |
| Total | | |

Utilisation-Paramètres d'utilisation

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Le produit est il ergonomique | | |
| Le produit a t il un effet sonore qui gêne | | |
| Mauvaise odeur lors de l'utilisation | | |
| Total | | |

Utilisation-Appropriation de l'écoconception

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir un parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Préparation de l'entreprise à l'utilisation éco-responsable du produit. | | |
| Total | | |

Fin de vie-Matériaux

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Matériaux facilement réutilisable ou recyclables | | |
| Le produit est il facilement démontable | | |
| Dématérialisation du produit | | |
| Total | | |

Fin de vie-Energie

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Utilisation du plastique et pièces en fibre pour la production d'énergie | | |
| Existence de matières dangereuses | | |
| Total | | |

Fin de vie –Rejets

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Existence d'infrastructure pour la récupération de solides | | |
| Récupération de gaz contenu dans le produit | | |
| Substances connues comme étant des polluants | | |
| Total | | |

Fin de vie -Paramètres d'utilisation

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Génération de bruit et odeur | | |
| Facilité de démontage et de tri (ergonomie) | | |
| Total | | |

Fin de vie -Appropriation de l'écoconception

| Différentes situations pour ce produit ou ses composants (choisir une parmi ces cas) | Oui (nombre de points 1-5) | Non (nombre de points 0) |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Adaptation de l'entreprise à la politique de l'écoconception | | |
| Total | | |

ANNEXE II

PARAMÈTRES DE CONCEPTION DE LA THÉORIE TRIZ (BTYL, 2010)

| <i>Paramètres TRIZ</i> | <i>Paramètres caractéristiques</i> |
|--|---|
| 1. Masse d'une entité mobile | Paramètres liés à la masse de l'entité |
| 2. Masse d'une entité immobile | |
| 3. Longueur d'une entité mobile | Caractéristique dimensionnelle de l'entité |
| 4. Longueur d'une entité immobile | |
| 5. Surface d'une entité mobile | Caractéristique surfacique de l'entité |
| 6. Surface d'une entité immobile | |
| 7. Volume d'une entité mobile | Caractéristique volumique de l'entité |
| 8. Volume d'une entité immobile | |
| 9. Vitesse | Vitesse, cadence, évolution d'une action |
| 10. Force | Interaction entre entités |
| 11. Contrainte, pression | Répartition surfacique des forces |
| 12. Forme | Contours, morphologie |
| 13. Stabilité de l'entité | Stabilité chimique, Cohésion, Pertes, Accroissement d'entropie |
| 14. Résistance | Résistance mécanique, rigidité |
| 15. Longévité d'une entité mobile | Durée de vie, Durée de fonctionnement |
| 16. Longévité d'une entité immobile | |
| 17. Température | Paramètres liés à la thermique |
| 18. Brilliance | Paramètres liés à l'éclairement, à l'optique |
| 19. Energie dépensée par l'entité mobile | |
| 20. Energie dépensée par l'entité immobile | |
| 21. Puissance | Rendement |
| 22. Gaspillage d'énergie | Energie non utilisée, Pertes énergétiques |
| 23. Gaspillage de substance | Pertes de masse, de matière, de composants, totale ou partielle |
| 24. Pertes d'informations | Pertes d'informations (données, sens, aspect, arôme, texture, vue...) |
| 25. Perte de temps | Durée d'une activité |
| 26. Quantité de substance | Nombre ou quantité de matière, de composants, total ou partiel |
| 27. Fiabilité | Probabilité d'une action dans des conditions et pour une durée donnée |
| 28. Précision de la mesure | Minoration d'erreur, d'incertitude Par abus, exactitude de la mesure |
| 29. Précision de l'usinage | Respect des spécifications (dimensionnelles, de forme et de position) |
| 30. Facteurs nuisibles agissant sur l'entité | Sensibilité du système à des facteurs nuisibles (froid, corrosion...) |
| 31. Facteurs nuisibles induits | Sensibilité du système à des effets qu'il génère (chaleur...) |
| 32. Usinabilité | Facilité de fabrication, de réalisation |
| 33. Facilité d'utilisation | Usage, Fonctionnement intuitif |
| 34. Aptitude à la réparation | Démontage, Remplacement, Maintenance |
| 35. Adaptabilité | Adaptabilité, Disponibilité, Universalité, Polyvalence |
| 36. Complexité de l'appareil | Nombre de composants, Diversité, Maîtrise |
| 37. Complexité de contrôle | Contrôle, Détection, Mesure, Analyse |
| 38. Degré d'automatisation | Commande, Régulation, Autonomie, Asservissement |
| 39. Productivité | Nombre d'actions par unité de temps, Débit de produits |

ANNEXE III

PARAMÈTRES DE CONCEPTION ET AXES D'ÉCO-EFFICIENCE

| Paramètres TRIZ | A | B | C | D | E |
|--|---|---|---|---|---|
| 1. Masse d'une entité mobile | | | | | |
| 2. Masse d'une entité immobile | | | | | |
| 3. Longueur d'une entité mobile | | | | | |
| 4. Longueur d'une entité immobile | | | | | |
| 5. Surface d'une entité mobile | | | | | |
| 6. Surface d'une entité immobile | | | | | |
| 7. Volume d'une entité mobile | | | | | |
| 8. Volume d'une entité immobile | | | | | |
| 9. Vitesse | | | | | |
| 10. Force | | | | | |
| 11. Contrainte, pression | | | | | |
| 12. Forme | | | | | |
| 13. Stabilité de l'entité | | | | | |
| 14. Résistance | | | | | |
| 15. Longévité d'une entité mobile | | | | | |
| 16. Longévité d'une entité immobile | | | | | |
| 17. Température | | | | | |
| 18. Brillance | | | | | |
| 19. Energie dépensée par l'entité mobile | | | | | |
| 20. Energie dépensée par l'entité immobile | | | | | |
| 21. Puissance | | | | | |
| 22. Gaspillage d'énergie | | | | | |
| 23. Gaspillage de substance | | | | | |
| 24. Pertes d'informations | | | | | |
| 25. Perte de temps | | | | | |
| 26. Quantité de substance | | | | | |
| 27. Fiabilité | | | | | |
| 28. Précision de la mesure | | | | | |
| 29. Précision de l'usinage | | | | | |
| 30. Facteurs nuisibles agissant sur l'entité | | | | | |
| 31. Facteurs nuisibles induits | | | | | |
| 32. Usinabilité | | | | | |
| 33. Facilité d'utilisation | | | | | |
| 34. Aptitude à la réparation | | | | | |
| 35. Adaptabilité | | | | | |
| 36. Complexité de l'appareil | | | | | |
| 37. Complexité de contrôle | | | | | |
| 38. Degré d'automatisation | | | | | |
| 39. Productivité | | | | | |

A : Consommation de matériaux

B : Consommation d'énergie

C : Rejets

D : Paramètres d'utilisation

E : Appropriation de l'écoconception

ANNEXE IV

MATRICE DES CONTRADICTIONS

| | | paramètres qui se dégradent | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|----|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| paramètres à améliorer | 1 | | 15,8 29,34 | | 29,17 38,34 | | 29,2 40,28 | | 2,8 15,38 | 8,10 18,37 | 10,36 37,40 | 10,14 35,40 | 1,35 19,39 | 28,27 18,40 | 5,34 31,35 | | 6,29 4,38 | 19,1 32 | 35,12 34,31 | | |
| | 2 | | | 10,1 29,35 | | 35,30 13,2 | | 5,35 14,2 | | 8,10 19,35 | 13,29 10,18 | 13,10 29,14 | 26,39 1,40 | 28,2 10,27 | | 2,27 19,6 | 28,19 38,18 | 19,32 35 | | 18,19 28,1 | |
| | 3 | 8,15 29,34 | | | | 15,17 4 | | 7,17 4,35 | | 13,4 8 | 17,10 35 | 1,8 10,29 | 1,8 15,34 | 1,8 29,34 | 8,35 19 | | 10,15 19 | 32 | 8,35 24 | | |
| | 4 | | 35,28 40,29 | | | | 17,7 10,40 | | 35,8 2,14 | | 28,10 | 1,14 35 | 13,14 15,7 | 39,37 35 | 15,14 28,26 | 1,40 35 | 3,35 3,25 | | | | |
| | 5 | 2,17 29,4 | | 14,15 18,4 | | | | 7,14 17,4 | | 29,30 4,34 | 19,30 35,2 | 10,15 36,28 | 5,34 29,4 | 11,2 13,39 | 3,15 40,14 | 6,3 | 2,15 16 | 15,32 19,13 | | 19,32 | |
| | 6 | | 30,2 14,18 | | 26,7 9,39 | | | | | | 1,18 35,36 | 10,15 36,37 | | 2,38 40 | | 2,10 19,30 | 35,39 38 | | | | |
| | 7 | 2,26 29,40 | | 1,7,4 35 | | 1,7,4 17 | | | | 29,4 38,34 | 15,35 36,37 | 6,35 29,4 | 1,15 1,39 | 28,10 15,7 | 9,14 4 | 6,35 4 | 34,39 10,18 | 2,13 10 | 35 | | |
| | 8 | | 35,10 19,14 | 19,14 | 35,8 2,14 | | | | | | 2,18 37 | 24,35 35 | 7,2 35,40 | 34,28 17,15 | 9,14 17,15 | | 35,6 4 | | | | |
| | 9 | 2,28 13,38 | | 13,14 8 | | 29,30 34 | | 7,29 34 | | | 13,28 15,19 | 6,18 38,40 | 35,15 18,34 | 28,33 1,18 | 8,3 26,14 | 3,19 35,5 | 28,30 36,2 | 10,13 32 | 8,15 19,17 | | |
| | 10 | 8,1 37,18 | 18,13 1,28 | 17,19 9,36 | 28,10 | 19,10 15 | 1,18 36,37 | 15,9 12,37 | 2,36 18,37 | 13,28 15,12 | | 18,21 11 | 10,35 40,34 | 35,10 21 | 35,10 14,27 | 19,2 | 35,10 21 | | 19,17 10 | 1,16 36,37 | |
| | 11 | 10,36 37,40 | 13,29 10,18 | 35,10 36 | 35,1 14,16 | 10,15 36,28 | 10,15 36,37 | 6,35 10 | 35,24 36 | 6,35 21 | 36,35 36 | | 35,4 15,10 | 35,33 2,40 | 9,18 3,40 | 19,3 27 | 35,39 19,2 | | 14,24 10,37 | | |
| | 12 | 8,10 29,40 | 15,10 26,3 | 29,34 5,4 | 13,14 10,7 | 5,34 4,10 | | 14,4 4,10 | 7,2 35 | 35,15 34,18 | 35,10 37,40 | 34,15 10,14 | | 33,1 18,4 | 30,14 10,40 | 14,26 9,25 | | 22,14 19,32 | 13,15 32 | 2,6 34,14 | |
| | 13 | 21,35 2,39 | 26,39 1,40 | 13,15 1,28 | 37 | 2,11 13 | 39 | 28,10 19,39 | 34,28 35,40 | 33,15 28,18 | 10,35 21,16 | 2,35 40 | 22,1 18,4 | | 17,9 15 | 13,27 10,35 | 39,3 35,23 | 35,1 32 | 32,3 27,16 | 13,19 19,35 | 27,4 29,18 |
| | 14 | 1,8 40,15 | 40,26 27,1 | 8,35 28,26 | 15,14 40,29 | 3,34 28 | 9,40 14,7 | 10,15 17,15 | 9,14 26,14 | 8,13 3,14 | 10,18 18,40 | 10,3 35 | 10,30 35,40 | 13,17 35 | | 27,3 26 | | 30,10 40 | 35,19 4,35 | 19,35 35,18 | 35 |
| | 15 | 19,5 34,31 | | 2,19 9 | | 3,17 19 | | 10,2 19,30 | | 3,35 5 | 19,2 16 | 19,3 27 | 14,26 28,25 | 13,3 35 | 27,3 10 | | 19,35 39 | 2,19 4,35 | 28,6 35,18 | | |
| | 16 | | 6,27 19,16 | | 1,40 35 | | | | 35,34 38 | | | | | | 39,3 35,23 | | | 19,18 36,40 | | | |
| | 17 | 36,22 6,38 | 22,35 32 | 15,19 9 | 15,19 9 | 3,35 39,18 | 35,38 | 34,39 40,18 | 35,6 4 | 2,28 36,30 | 35,10 3,21 | 35,39 19,32 | 14,22 19,32 | 1,35 32 | 10,30 22,40 | 19,13 39 | 19,18 36,40 | | 32,30 21,16 | 19,15 3,17 | |
| | 18 | 19,1 32 | 2,35 32 | 19,32 16 | | 19,32 26 | | 2,13 10 | | 10,13 19 | 26,19 6 | | 32,30 32,3 | 32,3 35,19 | 2,19 19 | | 32,35 19 | | 32,1 1,15 | | |
| | 19 | 12,18 28,31 | | 12,28 | | 15,19 25 | | 35,13 18 | | 8,15,35 | 16,26 21,2 | 23,14 25 | 12,2 29 | 19,13 17,24 | 5,19 9,35 | 28,35 6,18 | | 19,24 3,14 | 2,15 19 | | |
| | 20 | | 19,9 6,27 | | | | | | | | 36,37 | | | 27,4 29,18 | 35 | | | | 35,32 | | |
| | 21 | 8,36 38,31 | 19,26 17,27 | 1,10 35,37 | | 19,38 13,38 | | 17,32 38 | 35,6 25 | 30,6 2 | 15,35 36,35 | 26,2 35 | 22,10 2,40 | 29,14 15,31 | 35,32 28 | 26,10 10,38 | 19,35 16 | 2,14 17,25 | 16,6 19 | 19,37 | |
| | 22 | 15,6 19,28 | 19,6 18,9 | 7,2,6 13 | 6,38 7 | 15,26 17,30 | 17,7 30,18 | 7,18 23 | | 16,35 38 | | | | 14,2 39,6 | 26 | | 19,38 7 | 1,13 32,15 | | | |
| | 23 | 35,6 23,40 | 35,6 22,32 | 14,29 10,39 | 10 28,24 | 35,2 10,31 | 10,18 39,31 | 1,29 30,36 | 3,39 18,31 | 10,13 28,38 | 14,15 18,40 | 3,36 37,10 | 29,35 3,5 | 2,14 30,40 | 35,28 31,40 | 28,27 3,18 | 27,16 18,38 | 1,6 39,31 | 35,18 13 | 28,27 12,31 | |
| | 24 | 10,24 35 | 10,35 5 | | 1,26 26 | 30,26 30,16 | | 2,6 30,16 | 10,35 2,22 | 2,5 26,32 | 35,16 10,37 | | | 4,10 35,3 | 29,3 20,10 | 10 28,20 | 10 35,29 | 19 1,19 | | | |
| | 25 | 10,20 37,35 | 10,20 26,5 | 15,2 29 | 30,24 14,5 | 26,4 5,16 | 10,35 17,4 | 2,5 34,10 | 35,16 32,18 | | 10,37 36,5 | 37 36,4 | 4,10 34,17 | 35,3 22,5 | 29,3 28,18 | 20,10 28,18 | 28,20 10,16 | 35,29 21,18 | 1,19 26,17 | 35,38 19,18 | 1 |
| | 26 | 35,6 18,31 | 27,26 18,35 | 29,14 35,18 | | 15,14 29 | 2,18 40,4 | 15,20 29 | | 35,29 34,28 | 35,14 3 | 10,36 14,3 | | 15,2 35,14 | 14,35 17,40 | 3,35 10,40 | 3,35 31 | 3,17 39 | 34,29 16,18 | 3,35 31 | |
| | 27 | 3,8 10,40 | 3,10 8,28 | 15,9 14,4 | 15,29 28,11 | 17,10 14,16 | 32,35 40,4 | 3,10 14,24 | 2,35 24 | 21,35 11,28 | 8,28 10,3 | 10,24 35,19 | 35,1 16,11 | | 11,28 3,25 | 2,35 6,40 | 34,27 10 | 3,35 11,32 | 21,11 27,19 | 36,23 | |
| | 28 | 32,35 26,28 | 28,35 25,26 | 28,26 5,16 | 32,28 3,16 | 26,28 32,3 | 26,28 32,3 | 32,13 6 | | 28,13 32,24 | 10,28 25,10 | 3,39 10,28 | 14,15 28,19 | 3,36 32,30 | 29,35 13 | 2,14 32 | 35,28 32 | 28,27 24 | 21,36 6,19 | 35,18 32 | 28,27 32 |
| | 29 | 28,32 13,18 | 28,35 27,9 | 10,28 29,37 | 2,32 10 | 28,33 29,32 | 2,29 18,36 | 32,28 2 | 25,10 35 | 10,28 32 | 28,19 34,36 | | 3,35 40 | | 30,18 3,27 | 3,27 40 | | 19,26 3,32 | 3,32 32,2 | | |
| | 30 | 22,21 27,39 | 2,22 13,24 | 17,1 39,4 | | 22,1 33,28 | 27,2 39,35 | 22,23 37,35 | 34,39 19,27 | 21,22 35,28 | 13,35 39,18 | 22,2 37 | 35,24 3,35 | 18,35 30,18 | 22,15 40,33 | 22,15 35,2 | 17,1 32,13 | 22,33 6,22 | 1,19 22,37 | 1,24 10,2 | |
| | 31 | 19,22 15,39 | 35,22 1,39 | 17,15 16,22 | | 17,2 18,39 | 22,1 40 | 17,2 40 | 30,18 35,4 | 35,28 3,23 | 35,28 1,40 | 2,33 27,18 | | 35,40 35,1 | 15,35 22,2 | 15,22 33,31 | 21,39 16,22 | 22,35 2,24 | 19,24 39,32 | 2,35 6 | 19,22 18 |
| | 32 | 28,29 15,16 | 1,27 36,13 | 1,29 13,17 | 15,17 27 | 13,1 26,12 | | 13,1 16,40 | 35,13 1,40 | 35,12 8,1 | 35,19 1,37 | 1,28 13,27 | 11,13 1 | 1,3 10,32 | 1,3 4 | 27,1 35,16 | | 27,26 18 | 28,24 17,1 | 28,26 27,1 | 1,4 |
| | 33 | 25,2 13,15 | 6,13 1,25 | 1,17 13,12 | | 1,17 13,16 | 18,16 15,39 | 1,16 35,15 | 4,18 39,31 | 18,13 34 | 28,13 35 | 2,32 12 | 15,34 29,28 | 32,35 30 | 32,40 3,28 | 29,3 8,25 | 1,16 25 | 26,27 13 | 13,17 1,24 | 1,13 24 | |
| | 34 | 2,27 35,11 | 2,27 35,11 | 1,28 10,25 | 3,18 31 | 15,13 32 | | 25,2 16,25 | | 1,11 34,9 | 1,13 10 | | 1,13 2,4 | 2,35 2,9 | 11,1 28,27 | | 1 4,10 | 2,17 27,2 | 2,24 13 | 15,1 28,16 | |
| | 35 | 1,6 15,8 | 19,15 29,16 | 35,1 29,2 | 1,35 16 | 35,30 29,7 | 15,16 15,16 | | 15,35 29 | 35,10 34,26 | 15,17 14 | | 15,37 1,8 | 35,30 14 | 35,3 32,6 | 13,1 35 | 2,16 2,16 | 27,2 3,35 | 19,35 26,1 | 19,35 29,13 | |
| | 36 | 26,30 34,36 | 2,26 35,39 | 1,19 26,24 | 26 13,16 | 14,1 6,36 | | | 1,16 6 | 34,10 28 | 26,16 26,16 | | 19,1 35 | 29,13 28,15 | 2,22 17,19 | 2,13 28 | 10,4 28,15 | 2,17 13 | 24,17 13 | 27,2 29,28 | 19,35 16 |
| | 37 | 27,26 28,13 | 6,13 28,1 | 16,17 26,24 | 26 18,17 | 2,13 30,16 | 2,39 4,16 | 29,1 26,31 | 2,18 16,35 | 3,4 40,19 | 36,28 37,32 | 27,13 1,39 | 11,22 39,30 | 27,3 15,28 | 27,3 39,25 | 19,29 6,35 | 25,34 35,16 | 3,27 35,16 | 2,24 26 | 35,38 16 | |
| | 38 | 28,26 18,35 | 28,26 35,10 | 14,13 17,28 | 23 13 | 17,14 13 | | 35,13 16 | | 28,10 16 | 13,35 1,13 | | 18,1 1,13 | 25,13 1,13 | 6,9 | | | 26,2 19 | 8,32 19 | 2,32 13 | |
| | 39 | 35,26 24,37 | 28,27 15,3 | 18,4 28,38 | 30,7 14,26 | 10,26 34,31 | 10,35 17,7 | 2,6 34,10 | 35,37 10,2 | | 28,15 10,36 | 10,37 14 | 14,10 34,40 | 35,3 22,39 | 29,28 10,18 | 35,10 2,18 | 21,10 16,38 | 35,21 28,10 | 26,17 19,1 | 35,10 38,19 | 1 |

| paramètres qui se dégradent | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | paramètres à améliorer | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|------|-------|-------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 12,36 | 6,2 | 5,35 | 10,24 | 10,35 | 3,26 | 1,3 | 28,27 | 28,35 | 22,21 | 22,35 | 27,28 | 35,3 | 2,27 | 29,5 | 26,30 | 28,29 | 26,35 | 35,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | </ |

ANNEXE V

PRINCIPES INVENTIFS: LEVIERS À ACTIONNER

- 1) La segmentation**
 - a. Diviser une entité en parties indépendantes.
 - b. Réaliser une entité démontable.
 - c. Réaliser une entité modulaire.
 - d. Réaliser une entité fragmentable (fragmentation au cours du cycle de vie).
- 2) L'extraction**
 - a. Supprimer, séparer ou rendre inactive la partie inutilisée (dans une situation de vie), la propriété nuisible ou néfaste de l'entité.
 - b. Isoler (ou rendre indépendante) de l'entité la partie utile ou nécessaire.
- 3) La qualité locale**
 - a. Aller de la structure homogène d'une entité (ou de l'environnement ou d'un champ) vers une structure hétérogène.
 - b. Adapter chaque partie de l'entité afin qu'elle possède ou réalise des fonctions différentes.
 - c. Découper une entité en éléments ou blocs fonctionnels (modularité), chacun possédant une fonction indépendante.
 - d. Placer chaque partie de l'entité sous les conditions les plus favorables et optimales pour l'adapter à sa fonction.
- 4) L'asymétrie**
 - a. Remplacer une forme symétrique par une forme asymétrique.
 - b. Si l'entité est déjà asymétrique, accroître son asymétrie.
- 5) La combinaison**
 - a. Associer dans l'espace des entités homogènes ou à fonctionnalité connexe, réduire l'encombrement.
 - b. Associer dans le temps des procédés homogènes ou à fonctionnalité connexe, réduire les temps de fonctionnement.
 - c. Intégrer différentes fonctionnalités dans la même entité.
- 6) L'universalité**
 - a. Privilégier la polyvalence d'une entité de manière à réduire le nombre d'entités nécessaires.
- 7) Les poupées gigognes**
 - a. Placer les entités les unes dans les autres.
 - b. Faire passer une entité au travers d'une autre par ses cavités ou porosités.
- 8) Le contrepoids**
 - a. Compenser le poids d'une entité par interaction avec une autre entité.
 - b. Compenser le poids d'une entité par interaction avec un environnement (forces aérodynamiques, hydrodynamiques ou statiques type Archimède).
- 9) L'action contraire préalable**
 - a. Rajouter des actions contraires préalables afin d'éliminer ou compenser les effets nuisibles.
 - b. Intégrer à l'entité une entité qui réalise une ou des actions contraires préalables (type précontrainte) afin de s'opposer aux effets nuisibles en fonctionnement.
- 10) L'anticipation**
 - a. Accomplir l'action requise à l'avance (entièrement ou au moins partiellement).
 - b. Positionner les entités à l'avance pour que l'action soit réalisée immédiatement, dans les conditions les plus favorables.
- 11) La prévention**
 - a. Améliorer la sûreté de fonctionnement de l'entité par des mesures préventives.
- 12) L'équipotentialité**
 - a. Changer les conditions de travail de manière à minimiser la consommation d'énergie.
 - b. Limiter les déplacements verticaux.

Source : http://www.triz40.com/aff_Matrice_TRIZ.php

13) L'alternative :

- a. Effectuer l'action alternative ou opposée à l'action requise.
- b. Inverser les parties mobiles et les parties fixes de l'entité.
- c. Changer l'orientation de l'entité, la retourner (utiliser la gravité).

14) La courbure

- a. Remplacer des lignes droites par des courbes, des surfaces planes par des surfaces courbes ou des formes parallélépipédiques par des volumes à section courbe.
- b. Utiliser des formes circulaires, spiralées, sphériques ou arborescentes.
- c. Remplacer un mouvement de translation par un mouvement de rotation, hélicoïdal ou curviligne. Utiliser les effets centrifuges.

15) L'adaptabilité

- a. Adapter les propriétés de l'entité (ou son environnement) à une performance optimale à chaque étape d'utilisation.
- b. Diviser l'entité en entités mobiles entre elles.
- c. Si une entité est statique, la rendre dynamique ou adaptable.
- d. Diviser l'entité en entités mobiles entre elles.

16) L'action réduite ou excessive

- a. Utiliser la réduction ou l'augmentation de l'effet requis.

17) Le changement de dimension

- a. Passer d'un déplacement rectiligne (1D) à un mouvement plan (2D) ou dans l'espace (3D).
- b. Décomposer l'entité en différentes entités à différents niveaux (monocouche vers multicouche).
- c. Changer l'orientation de l'entité (horizontale, verticale, inclinée, mise sur le côté), utiliser la face opposée.
- d. Utiliser des flux (optiques ou autres) dirigés sur une surface voisine ou sur la face opposée de la surface donnée.

18) La vibration mécanique

- a. Faire vibrer ou utiliser la vibration d'une entité.
- b. Accroître la fréquence de vibration jusqu'aux fréquences ultrasonores.
- c. Utiliser la fréquence de résonance.
- d. Utiliser les vibrations piézo-électriques.
- e. Associer les ultrasons et les champs électromagnétiques.

19) L'action périodique

- a. Transformer une action continue par une action périodique (impulsions), agir avec une énergie périodique ou pulsée.
- b. Pour une action ou une énergie périodique, modifier sa fréquence ou son amplitude.
- c. Utiliser des pauses lors des actions périodiques pour effectuer des actions supplémentaires.

20) La continuité d'une action utile

- a. Utiliser une action continue pour que l'entité agisse en permanence. Toute partie de l'entité doit travailler à sa capacité maximale en permanence.
- b. Eliminer les mouvements à vide et les mouvements intermédiaires.
- c. Remplacer le mouvement de va et vient par une rotation.

21) L'action rapide pour la sécurité

- a. Changer les conditions pour que les fonctions dangereuses ou nuisibles agissent pendant des durées réduites.

22) La transformation d'un effet nuisible en effet utile

- a. Utiliser les effets nuisibles, notamment environnementaux pour obtenir un effet utile.
- b. Eliminer un effet nuisible en l'associant à d'autres effets nuisibles.
- c. Intensifier un effet nuisible jusqu'à ce qu'il cesse d'être nuisible.

23) L'asservissement

- a. Introduire un asservissement.
- b. Si l'asservissement existe, accroître son efficacité.

24) L'intermédiaire

- a. Utiliser une entité ou un champ intermédiaire pour réaliser une action.
- b. Joindre temporairement à l'entité une autre entité ou un champ facile à éliminer.

25) Le self service

- a. Utiliser les ressources d'une entité pour assurer son autonomie en créant des fonctions auxiliaires.
- b. Durant le cycle de vie de l'entité, donner à l'entité des fonctionnalités correctrices ou préventives.

26) La copie

- a. Remplacer une entité fragile ou délicate par des copies simplifiées et moins chère.
- b. Remplacer l'entité par une entité virtuelle. Changer d'échelle.
- c. Passer d'une copie visible à une copie infrarouge, ultraviolets ou autres.
- d. Remplacer la copie par une entité manipulable par un ou plusieurs des cinq sens.

27) L'éphémère bon marché

- a. Remplacer une entité chère par une ou plusieurs entités peu coûteuses
- b. Accepter de modifier l'entité au dépend de certaines propriétés ou de la durée de vie.

28) L'évolution du système mécanique

- a. Remplacer un champ mécanique par un champ optique, acoustique, thermique, chimique (MATHem).
- b. Utiliser un champ magnétique, électrique ou électromagnétique pour agir sur l'entité (mathEM).
- c. Faire évoluer les champs :
 - (1) de stationnaire à dynamique
 - (2) de constant à variable
 - (3) d'aléatoire à structuré
- d. Utiliser des champs en association avec des particules activées par ces champs.

29) Les fluides

- a. Remplacer les parties solides d'une entité par un fluide (poudres, gel, pâte, liquide, gaz). Utiliser des entités gonflables hydrostatiques, hydrodynamiques ou à coussin d'air.
- b. Utiliser la force d'Archimède.
- c. Utiliser la pression atmosphérique ou mettre en dépression.
- d. Utiliser une mousse en combinaison avec un liquide ou un gaz.

30) Le déformable

- a. Changer une entité rigide par une entité déformable.
- b. Remplacer une structure par une enveloppe déformable.
- c. Isoler une entité de son environnement par une enveloppe déformable.

31) Le matériau poreux

- a. Réaliser une entité poreuse ou lui adjoindre des éléments poreux (inserts, revêtements,...).
- b. Utiliser les pores d'une entité poreuse pour introduire une substance ou une fonctionnalité.

32) Le changement de couleur

- a. Modifier la couleur d'une entité ou de son environnement.
- b. Modifier le degré de transparence d'une entité ou de son environnement.
- c. Utiliser des colorants (additifs) pour observer des entités (ou procédés) difficilement perceptibles.
- d. Si de tels additifs sont déjà employés, utiliser des atomes repérables (luminescence, radioactivité,...).

33) L'homogénéité

- a. Réaliser l'entité principale et les entités associées à partir du même matériau ou des matériaux aux propriétés similaires.
- b. Rendre les entités cohérentes entre elles.

34) Le rejet et la régénération

- a. Éliminer ou modifier la partie de l'entité qui a rempli sa fonction ou est devenue inutile (dissoute, évaporée,...)
- b. Régénérer les parties consommées de l'entité durant la réalisation de la fonction.

35) Le changement de propriétés

- a. Modifier l'état de phase d'une entité.
- b. Modifier sa concentration ou sa consistance.
- c. Modifier le degré de flexibilité.
- d. Modifier sa température.
- e. Modifier toute caractéristique pertinente.

36) La transition de phases

- a. Utiliser des phénomènes connexes aux transitions de phase (expansion ou rétraction de volume, variation de pression, endothermie, exothermie,...).

37) L'expansion thermique

- a. Utiliser la dilatation thermique (ou la contraction) de matériaux. Utiliser des matériaux avec des coefficients de dilatation thermique différents.
- b. Utiliser le changement de phase.
- c. Utiliser les matériaux à mémoire de forme.

38) L'oxydation

- a. Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi en oxygène.
- b. Remplacer de l'air enrichi par de l'oxygène.
- c. Agir sur l'air, sur l'oxygène ou sur l'environnement par des radiations ionisantes.
- d. Remplacer l'oxygène par de l'ozone.

39) L'environnement inerte

- a. Remplacer l'environnement par de l'environnement inerte.
- b. Introduire des substances neutres dans une entité.
- c. Utiliser le vide.

40) Les matériaux composites

- a. Remplacer des matériaux homogènes par des matériaux composites.

ANNEXE VI

PRÉSENTATION DES CAPSULES ET ÉVALUATION PRÉLIMINAIRE D'ÉCOCONCEPTION

Guide d'aide à la créativité

- Les points forts: Recherche rapide de solutions, Fiches de principes inventifs réutilisables
- Objectifs pédagogiques et de recherche: Sensibiliser aux principes de créativité, Application pour générer des solutions

Objectifs des capsules

- 0 Présentation générale: Évaluation préliminaire multicritère des impacts environnementaux et d'usage du produit ou du procédé sur son cycle de vie
- A Amélioration de la consommation de matériaux et de ressources
- B Amélioration énergétique
- C Diminution des rejets générés
- D Amélioration des paramètres d'usage (Forme, résistance, stabilité, Facilité utilisation, réparabilité, adaptabilité)
- E Appropriation de l'écoconception ou une conception respectant les normes

Attribuez une note de 0 à 5 (0 étant la situation la moins impactante), Additionnez les notes des cellules par ligne, les scores les plus élevés correspondent aux situations de paramètres à améliorer.

| Paramètre d'efficacité | Fabrication | Matériaux | Transport, emballage | Utilisation | Fin de vie | Total |
|--|-------------|-----------|----------------------|-------------|------------|-------|
| A- Consommation de matériaux | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 | |
| B- Consommation d'énergie | B11 | B12 | B13 | B14 | B15 | |
| C- Rejets | C11 | C12 | C13 | C14 | C15 | |
| D- Paramètres d'usage | D11 | D12 | D13 | D14 | D15 | |
| E- Appropriation de l'écoconception | E11 | E12 | E13 | E14 | E15 | |

Capsule A : Solutions éco-innovantes Eca-Triz : exemple pour la réduction de la consommation de matériaux

Les principes qui peuvent vous mener à une solution inventive

Actions potentielles

Essayer d'opérer un Changement de paramètres
(Changement de phases, de consistance, de concentration, de température, modifier le degré de flexibilité).
Lien utile: <http://www.vankodesen.com/2013/11/24/memory-compartments/>

Ou/et

Prélever une Action préliminaire
(Éliminer un changement requis plus tard, en partie ou complet)
Exemple: brûler des cigarettes pour réduire consommation des carburants et réduction de la pollution dans les parking Lien: <http://www.minutetubez.com/madeline-une-idee-brillante-pour-reduire-la-consommation-de-carburant-dans-les-parking>

Ou/et

Faire une Extraction
(Séparer de l'objet une partie perturbatrice, extraire seulement une propriété nécessaire).
Voir exemple sur le lien: <http://www.inventiva.com/science/magazine-inventiva-2010/20100404-les-bus-ahoud>

Ou/et

Introduire une action Vibratoire
(Faire osciller ou vibrer un objet, si l'oscillation existe augmenter sa fréquence, utiliser la fréquence de résonance)
Exemple: une chaussure électronique pour le réveil en douceur
Lien utile: <http://www.inventiva.com/science/magazine-inventiva-2013/20130505-les-bus-ahoud>

Ou/et

Transformer votre problème en opportunité
(Utiliser des effets nuisibles pour, notamment ceux de l'environnement, pour obtenir des résultats positifs, amplifier ou éliminer un effet nuisible).
Exemple: regrouper des cigarettes qui laissent pousser une plante une fois jetée.
Lien utile: <http://www.inventiva.com/science/magazine-inventiva-2013/20130505-les-bus-ahoud>

Remarque: Certaines propositions peuvent ne pas s'appliquer



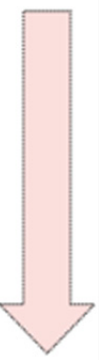
ANNEXE VII


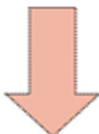

GRILLE D'ÉVALUATION 24H DE L'INNOVATION







| | |
|--|------------|
| Innovation et Créativité | 30 points |
| | 0-5 points |
| Le concept est innovant | |
| L'équipe fait preuve de créativité | |
| L'équipe a utilisé des technologies d'avant garde | |
| Le concept a un impact positif sur la société | |
| Le concept est esthétiquement plaisant | |
| Le concept se démarque des produits existants | |
| Sous-Total | |
| Analyse des informations scientifiques et techniques | 30 points |
| | 0-5 points |
| Le concept est applicable et pertinent | |
| Processus de conception précis et logique | |
| Base théorique solide et documentée | |
| Le concept est financièrement réalisable | |
| L'équipe a bien ciblé sa clientèle | |
| Le concept est techniquement réalisable | |
| Sous-total | |
| Qualité de l'exposé | 20 points |
| | 0-5 points |
| La présentation fait preuve de structure et d'organisation | |
| Les présentateurs ont-ils su capter l'attention du jury | |
| L'hypothèse de la problématique bien formulée | |
| Les illustrations sont claires et pertinentes | |
| Sous-total | |

| Écoresponsabilité | 20 points |
|--|------------|
| | 0-5 points |
| Le concept présenté répond au développement durable | |
| Le concept utilise un minimum de ressources matérielles | |
| Le concept est éco-énergétique | |
| Le concept a un cycle de vie défini et vise la pérennité | |
| Sous-total | |
| Total sur 100 | |

Guide chronologique

| Heure | Étapes | Outils / stratégies | Recommandations |
|--|--|---|---|
| Avant 0  | Votre équipe est-elle préparée? | Voir ci-dessus « COMMENT PRÉPARER VOTRE ÉQUIPE » | Si non, faites-vite : vous êtes en retard!! |
| 0 à 1  | Choisissez votre défi | En fonction de vos GOÛTS et des FORCES / EXPÉRIENCES des membres de l'équipe | Choisissez en équipe votre projet en cherchant à bien COMPRENDRE le problème et ce que désire le client |
| 1 à 3  | Définir le problème Générer des idées | Utiliser le PROCESSUS et les MINI OUTILS DE CRÉATIVITÉ recommandés : <ul style="list-style-type: none"> • Processus créatif • Problem statement • Brainstorm • Brainwriting • SCAMPER • Mindmap | <ul style="list-style-type: none"> • Minimum 0,5h à définir le problème • PARLEZ AU CLIENT ou PRENEZ DES INFORMATIONS • Le problème est trop gros? Prenez seulement une partie que vous pouvez résoudre en 24h! • C'est un processus itératif • Ne tombez pas EN AMOUR avec vos idées!! • ILLUSTRER!! : des esquisses, dessins sur papier, carton, tableau |

| Heure | Étapes | Outils / stratégies | Recommandations |
|--|----------------------------|--|---|
| 3 à 5  | ÉCOINNOVER! | Utiliser les outils d'écoconception | Vous serez ÉVALUÉ sur cet aspect environnemental |
| 5 à 7  | Trouver la SOLUTION | <ul style="list-style-type: none"> • Problem statement vous a aidé à définir le problème • SCAMPER vous a aidé à raffiner vos idées générées | Est-ce que la solution résout de FAÇON CRÉATIVE le problème? Si non, repensez le problème et/ou générer de nouvelles idées (processus itératif) |
| 7  | VOTRE FEEDBACK!! | <ul style="list-style-type: none"> • Questionnaire créatif • Questionnaire risqué! | Quelques questionnaires RAPIDES À REMPLIR pour nous aider à mieux vous aider! |

| Heure | Étapes | Outils / stratégies | Recommandations |
|--|--|--|---|
| 8 à 10  | Analyse financière | Est-ce que votre solution est RÉALISABLE ? | Analyser les coûts, la faisabilité, les risques Si c'est discutable, améliorez! |
| 10 à 14  | Prototypes | Dessin / simulation 2D, 3D Prototype papier, carton que vous allez filmer | Il faut démontrer au jury que c'est LA solution WOW et qu'elle est faisable! |
| 12 à 21  | Scénariser et réaliser la vidéo | | <ul style="list-style-type: none"> • Son, images, animation • Des exemples de projets gagnants |
| 21 à 22  | <ul style="list-style-type: none"> • Téléchargez votre vidéo sur Youtube • Envoyer le lien URL | | NE PAS OUBLIER d'indiquer dans le titre de votre vidéo votre université, le nom de votre équipe et le numéro du défi choisi. |
| 22 à 24  | Le jury local évalue les meilleurs projets | | |
| 24 à 26  | Le jury international évalue les meilleurs projets | | |

ANNEXE VIII

RÉSUMÉ DE QUELQUES CONCEPTS DE BREVETS PUBLIÉS POUR VÉRIFICATION

| Nom du concept ou produit | Présentation | Choix du paramètre inventif en cohérence avec notre démarche |
|---|--|---|
| Semelle pour chaussure Numéro de publication EP1928277A | Choix d'une semelle avec forme et résistance améliorée, avec minimisation consommation énergétique et recyclable. Concept : fil composite antibactérien et structure textile à trois dimensions et multi couches | Améliorer PI12 :Forme Améliorer PI13 :Stabilité Améliorer PI14 :Résistance Sans détériorer :Energie, matériaux et rejets Principes inventifs choisis 40 :Matériaux composites 17 :Structure multidimensionnels, assemblage multicouches |
| Céramique à base de mâchefers d'ordures ménagères Numéro de publication EP 1215182 B1 | La présente invention a pour objet un matériau cristallisé à base de mâchefers. Elle trouve plus particulièrement son utilisation dans le domaine des matériaux cristallisés du type céramique. Objectif : économie d'énergie par abaissement de température tout en garantissant les propriétés mécaniques. | Améliorer consommation énergie sans détériorer la forme, la résistance et la stabilité Principes inventifs :19,2,35,1 Principe inventif choisi :35 Modification de paramètre par changement de matériaux |
| Traverse de chemin de fer Numéro de publication EP2539508A1 | Traverses de rail en matière composite essentiellement à base de polyuréthane en général, avec d'excellentes propriétés mécaniques. | Améliorer -usage (PI14 :Résistance,PI12 :Forme, PI13:stabilité,) Paramètres à ne pas détériorer -Rejets Principes :2,35,40,28 35,2,40,14 -consommation matériaux Principes : 40,1,29,27 -consommation énergie Principes :14,2,6,40 Principe inventif choisi :40 Matériaux composites |
| Caisse palette pliable Numéro EP 0681964 A1 | Système permettant de former un conteneur à rotations et recyclable à 100 %, en un seul tenant, avec ou sans couvercle. Il est caractérisé comme étant un ensemble solidaire et monobloc, à plat ou monté, repliable | Paramètres à améliorer -Usage (forme, résistance, facilité utilisation) Paramètres à ne pas détériorer Rejets (35,14,1,29), consommation matériaux (40, 1,29,27) énergie (13,1,2,19) Principe inventif (retenu) :1 (degré de segmentation) |
| Système de déneigement et de dégel pour un véhicule terrestre à moteur, et véhicule ainsi équipé Numéro WO 2012049394 A2 | Diriger une partie au moins des calories dispersées dans l'air vers le sol enneigé ou gelé, de sorte que chaque véhicule peut contribuer au déneigement et au dégel de la route sur laquelle il circule. Par le passage répété de tels véhicules, on obtient le déneigement et le dégel complet, sans l'utilisation de véhicule spécialisé ni d'épandage de sel. De plus, aucune dépense d'énergie supplémentaire n'est consentie. | Paramètres à améliorer -Paramètres d'usage Paramètres à ne pas détériorer Consommation de matériaux Principes : (3,35,27,25) Principe retenu :25 (Fonction auxiliaire et réutilisation de résidus énergétiques) |
| Etiquette de triage Numéro WO 2004075144 A1 | Le procédé s'intéresse à tous les emballages et à tous les produits qu'ils contiennent; c-à-d des déchets. Il permet de faire un lien entre un déchet et le type de poubelle, qui est censée l'accueillir. Il s'agit de mettre sur le produit une étiquette avec logo et couleur, cela | Paramètres à améliorer -Rejets -consommation matériaux -consommation énergie -usage Paramètres à ne pas détériorer |

| | | |
|--|---|---|
| | facilite le tri du produit en fin de vie. | Appropriation de l'écoconception Principes : (10,35,15,4); (10,35,28,24);(10,19,35,18) ;(10,4,32,1) Principes retenus :10 (Action préalable) 32 (changement de couleur) |
| Déneigement par un parapluie chauffant (pare-neige) Numéro CA 2691291 A1 | Nouvelle méthode de déneigement qui consiste en un parapluie chauffant ou pare-neige. Cette nouvelle machine ressemble à un gros parapluie. Elle est constituée par une armature pliable, un vérin hydraulique fixée sur un poteau droit, une couverture chauffante et un conduit d'eau. En déployant le dit pare-neige au-dessus d'une surface donnée du sol, il sert d'abri temporaire contre la neige tombée en la ramassant avant qu'elle touchera le sol | Paramètres à améliorer -Rejets -usage Paramètres à ne pas détériorer -Appropriation Écoconception Principes : (10,35,15,4);(10,4,32,1) Principe retenu :10 (Action préalable) |

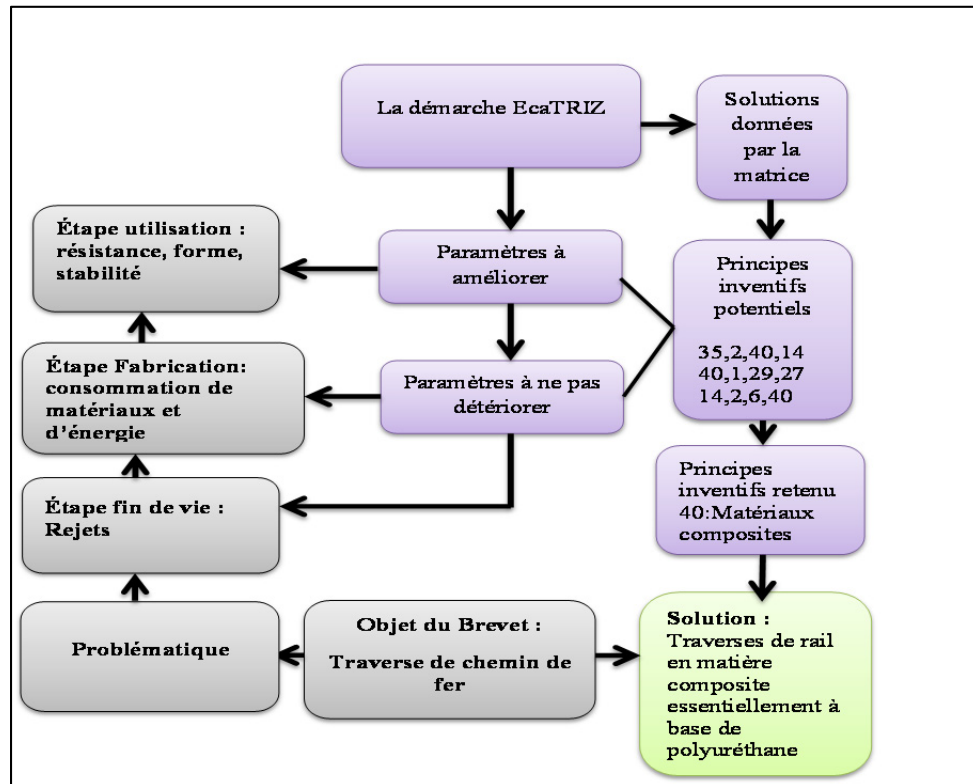
Traverse de chemin de fer (Eric. P, René.M, 2013)

La présente invention concerne l'utilisation d'une composition à base de résine thermoplastique et de fibres naturelles, en particulier végétales pour la fabrication de traverse de chemin de fer.

Les rails de chemin de fer sont en général posés sur des traverses ou des dalles. Les traverses de chemin de fer, de forme parallélépipédique rectangulaire, sont généralement en bois chêne, pin ou sapin, certains bois tropicaux étant également utilisés. On connaît également des traverses métalliques, généralement en fonte ou en acier; offrant des conditions d'assiette et de résistance similaires aux traverses en bois. Leur durée de vie est plus importante, mais leur prix de revient est beaucoup plus élevé et elles sont plus sonores. On utilise également des traverses en béton armé de différents types (traverses monobloc, traverses constituées par deux blochets reliés par une entretoise métallique). Pour surmonter ces problèmes, des traverses de rail en matière composite essentiellement à base de polyuréthane en général, sont de plus en plus utilisées. L'utilisation de matériaux composites a en effet beaucoup augmenté ces dernières années en raison de leurs excellentes propriétés mécaniques, telle qu'une bonne résistance mécanique, une grande légèreté, ou leur résistance à la dégradation au cours du temps.

La composition mise en œuvre dans les traverses objet de l'invention répond également à un besoin d'écoconception. La composition mise en œuvre dans les traverses objet de l'invention

présente des propriétés mécaniques, notamment de rigidité, de résistance aux charges et aux impacts suffisante pour permettre une application en tant que traverse de chemin de fer.

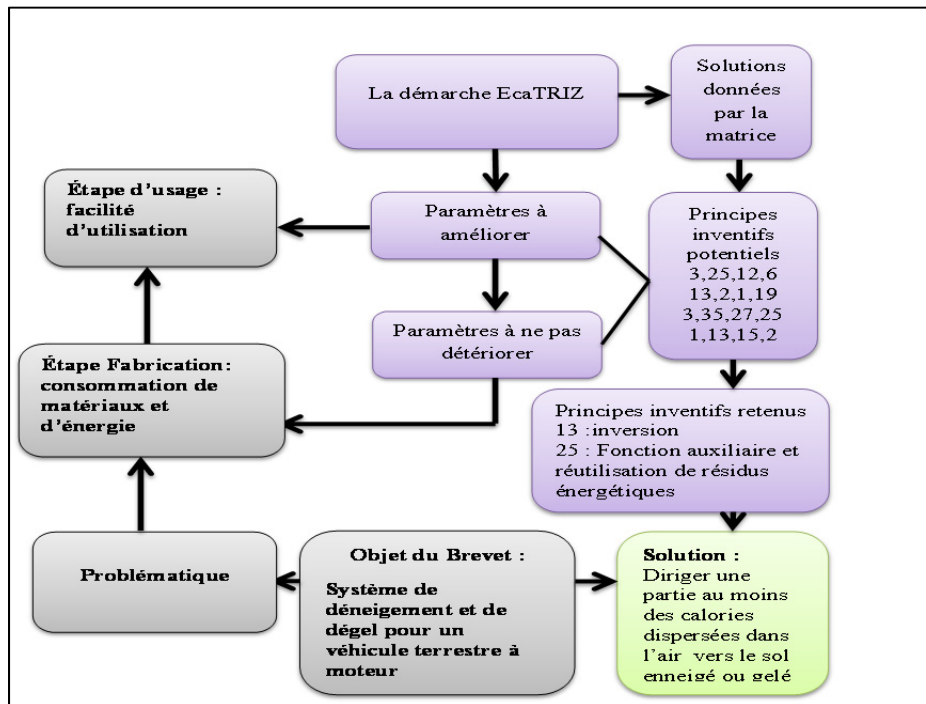


Système de déneigement et de dégel pour un véhicule terrestre à moteur, véhicule ainsi équipé

L'invention concerne un système de déneigement et de dégel pour un véhicule terrestre à moteur (Giorgi Franck De,2012).

Le déneigement et le dégel des routes est réalisé actuellement essentiellement par l'intermédiaire de véhicules spécialisés, qui raclent et abiment la surface de la route pour en éliminer la neige et la glace, et qui dispersent du sel afin de faire fondre celles-ci. Cependant, les usagers restent tributaires du passage de ces engins spécialisés. Par ailleurs, l'épandage du sel constitue une source de pollution des cours d'eau et une atteinte aux ressources naturelles.

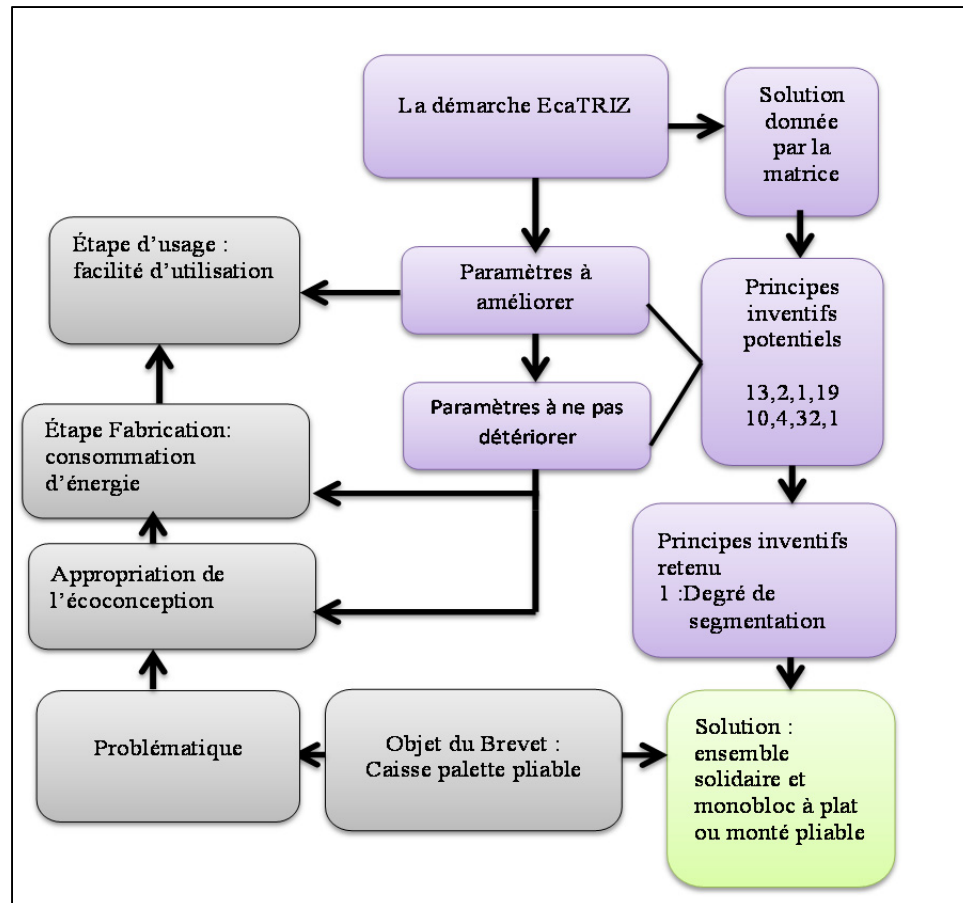
L'invention vise à fournir une solution alternative aux méthodes de déneigement et de dégel actuelles qui soit moins polluante, moins dépendante d'un service centralisé et moins coûteuse.



Caisse palette pliable

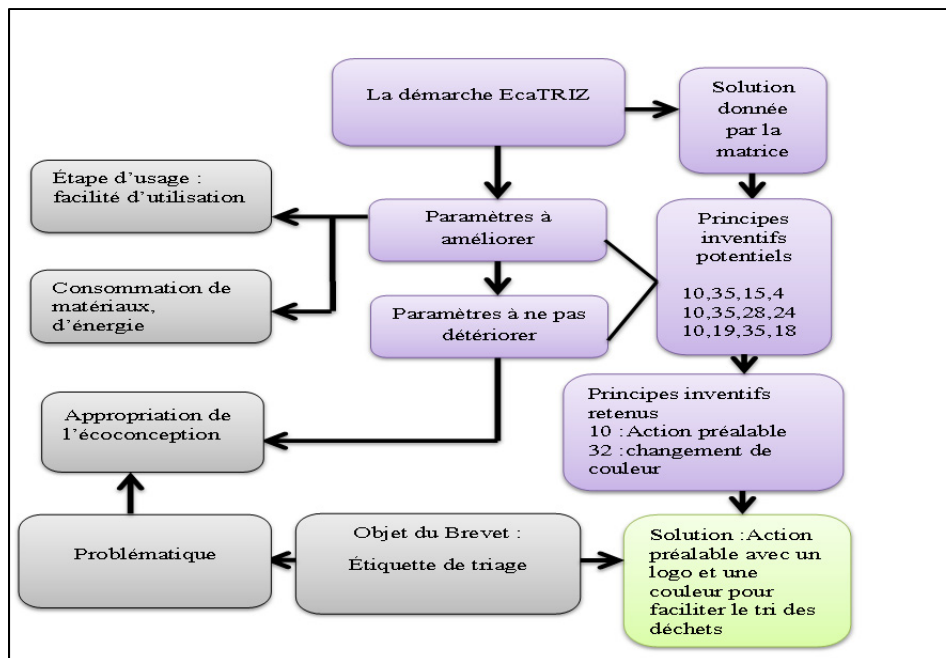
La vocation première de cette technique étant la multi-rotation dans les meilleures conditions (Detournay.C, 1995).

Le système, selon l'invention, consiste à obtenir un ensemble solidaire et monobloc total avec montage ou mise à plat en une fraction de seconde. La mise en forme s'effectue très facilement et sans tracas pour l'opérateur.



Étiquette de triage

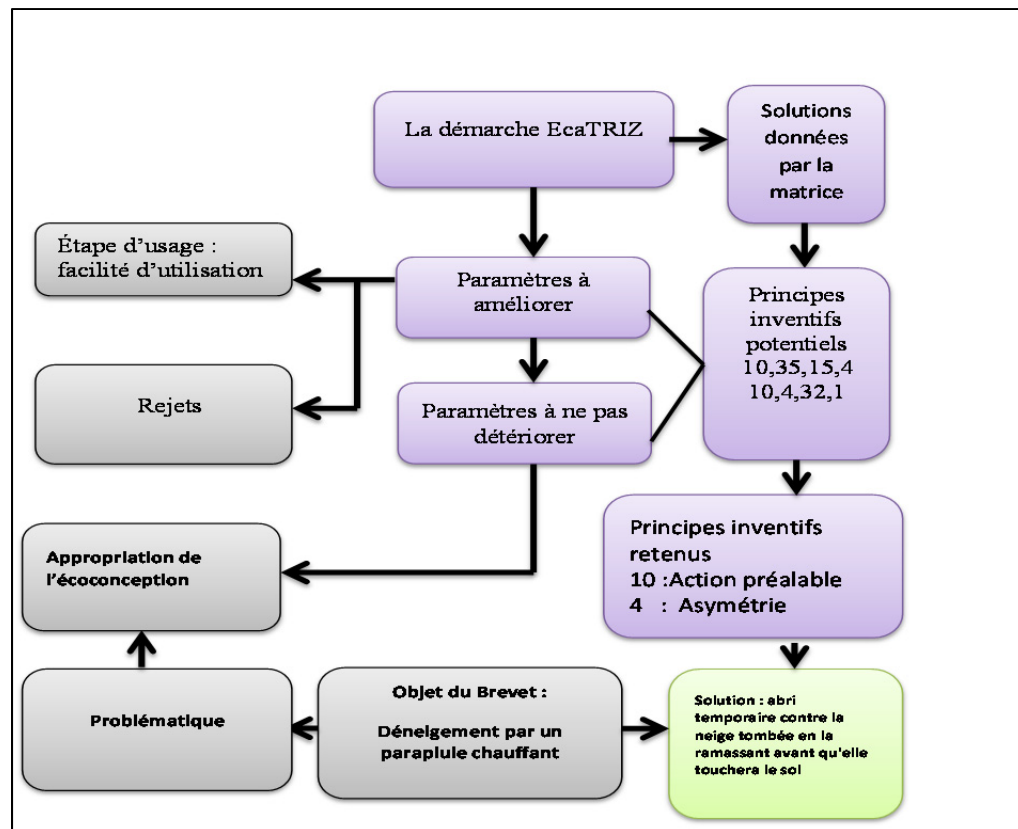
Le procédé s'intéresse à tous les emballages et à tous les produits qu'ils contiennent (Savane.M, 2004); c'est à dire des déchets. Il permet de faire un lien entre un déchet et le type de poubelle, qui est censée l'accueillir. Il s'agit de mettre sur le produit une étiquette avec logo et couleur, cela facilite le tri du produit en fin de vie.



Déneigement par un parapluie chauffant

Il s'agit d'une nouvelle méthode de déneigement (El-Harrache.O, 2011). Cette méthode consiste en une nouvelle machine appelée parapluie chauffant ou pare-neige. Cette nouvelle machine ressemble à un gros parapluie. Elle est constituée par une armature pliable, un vérin hydraulique fixée sur un poteau droit, une couverture chauffante et un conduit d'eau.

L'idée créatrice de cette nouvelle méthode de déneigement consiste à ramasser et à faire fondre la neige tombée avant qu'elle touchera le sol. Ce ramassage s'effectue par le moyen d'une nouvelle machine appelé pare-neige.



Autres applications

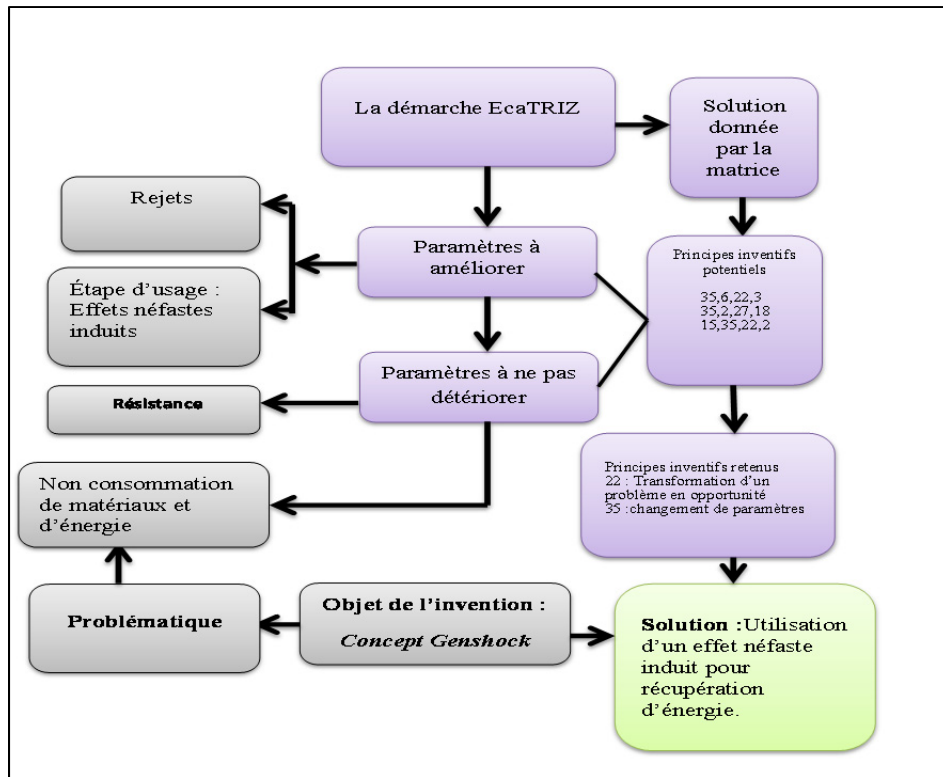
En plus des brevets cités dans le chapitre 5, nous exposons deux cas d'étude expérimentaux pour lesquels EcaTriz a été testé.

A- Synthèse de l'application des résultats de la méthode au cas du concept Genshock

| | | | |
|---|--|---|---|
| Nom | GenShock : Un amortisseur récupérateur d'énergie, capable de générer un peu d'électricité à chaque cahot de la route. | | |
| Objet | Application : Sur tout véhicule particulier à roue. Diminuer la consommation tout en assurant le confort Solution : transformer le problème en opportunité | | |
| Nos paramètres d'appréciation en cohérence avec le concept | Paramètre à améliorer | Paramètre à ne pas détériorer | Principes inventifs correspondants |
| | PI31 Facteurs nuisibles induits | PI15 :Durabilité objet mobile Ou PI14 :Résistance | 15,22,33,31 15,35,22,2 |
| Utilisation matrice proposée | Rejets | Consommation matériaux | 35,6,22,3 |
| Paramètre inventif choisi en cohérence avec notre démarche | Principe (retenu) 22 : Transformation d'un problème en opportunité (utilisation d'un facteur néfaste pour récupérer l'énergie cinétique à transformer en électricité) | | |

GenShock (Christophe, 2013) est un amortisseur récupérateur d'énergie, capable de générer un peu d'électricité à chaque cahot de la route. Il peut être adapté à tout véhicule particulier à roue.





Les concepteurs ont cherché à trouver la solution pour assurer le confort des passagers tout en gagnant de l'énergie. Le principe 22, qui stipule une transformation d'un problème en opportunité et qui est le résultat de notre démarche dans ce cas correspond bien à la solution apportée.

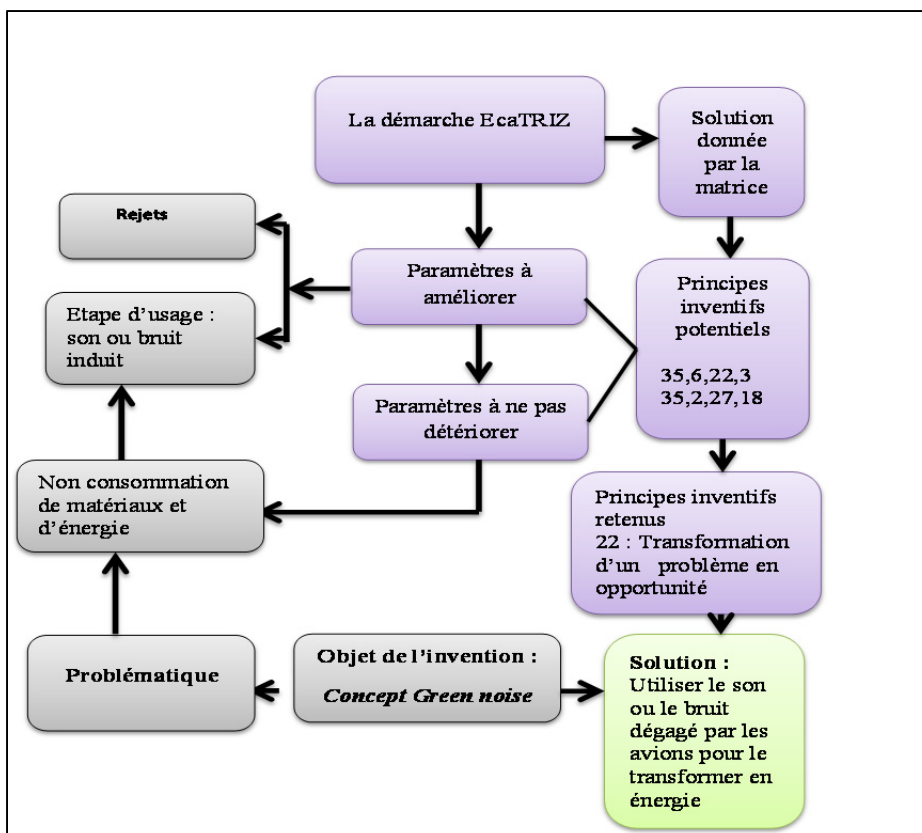
**B- Synthèse de l'application des résultats de la méthode au cas du concept
*GreenNoise***

| | | | |
|---|--|--------------------------------------|---|
| Nom | <i>Concept Green Noise</i> : exploite le son pour le convertir en énergie | | |
| Objet | Cet appareil capture l'énergie sonore des avions sur les pistes et le convertit en électricité qui alimentera les lumières des aéroports et autres petites applications de maintenance | | |
| Nos paramètres d'appréciation | Paramètre à améliorer | Paramètre à ne pas détériorer | Principes inventifs correspondants |
| | PI31 Facteurs nuisibles induits | PI22 Perte d'énergie | 21,35,2,22 |
| Utilisation matrice proposée | Rejets | Consommation matériaux | 35,6,22,3 |
| Paramètre inventif choisi en cohérence avec notre démarche | Principe inventif (retenu) :22 Transformation d'un problème en opportunité :récupération de bruit (énergie sonore) à transformer en énergie électrique pour les servitudes élémentaires (éclairage des pistes etc...) | | |

Le Concept *Green Noise* exploite le son pour le convertir en énergie. Cet appareil capture l'énergie sonore des avions sur les pistes et le convertit en électricité qui alimentera les lumières des aéroports et autres petites applications de maintenance.



Une illustration de l'objectif de l'invention ainsi que la démarche ÉcaTRIZ appliquée est donné sur le schéma ci après.



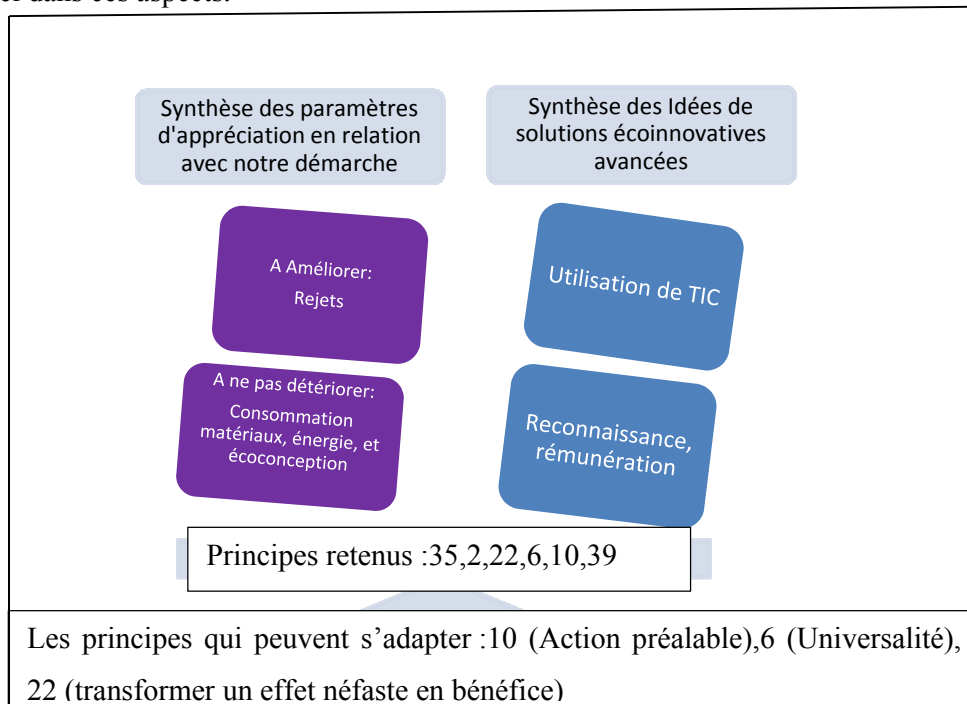
ANNEXE IX

COMPÉTITION DES 24H DE L'INNOVATION : AUTRES DÉFIS POUR VÉRIFIER ECA-TRIZ

Défi 2 : Amélioration de la gestion intégrée des déchets

1er Prix Afrique

La proposition doit comprendre, à travers l'utilisation des TIC, l'amélioration de la gestion intégrée des déchets, tout en impliquant le traitement des déchets et la réutilisation des composants électroniques. La proposition est destinée à accompagner un changement culturel dans ces aspects.



Les deux propositions visent à promouvoir un changement de culture et une prise de conscience sur les aspects environnementaux.

L'utilisation des technologies de l'information et de la communication (Écrans, applications interactives au moyen d'appareils électroniques) sur des contenants de déchets est conforme au principe 6, qui symbolise l'universalité ou le principe 10, qui dicte le besoin de réaliser une action préalable ou pré-positionner des objets pour qu'ils

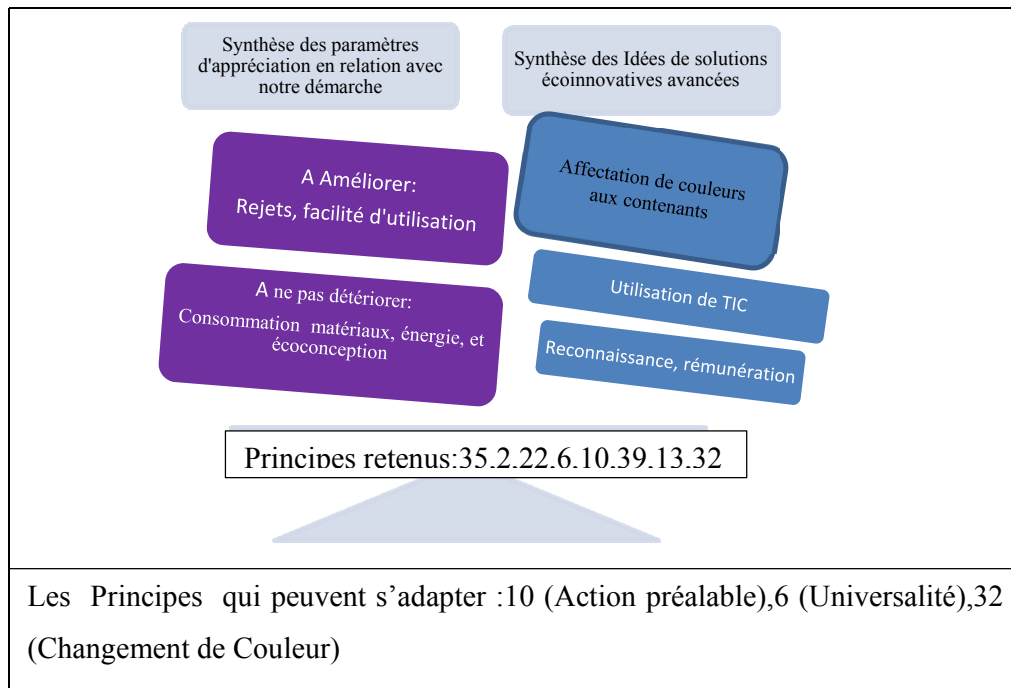
entrent en action efficacement, notamment pour satisfaire les besoins des citoyens. Le principe 22 conforte aussi les idées avancées, notamment en exploitant un effet néfaste pour en faire bénéficier le citoyen par une rémunération et qui pourra stimuler la communauté à mieux prendre en charge les déchets.



Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

1^{er} Prix jury local Amérique du Sud

Les idées avancées sont notamment une facilité de reconnaissance par affectation de couleurs aux contenants selon la nature des déchets (Principe 32) de telle façon qu'ils soient reconnus par tous. Répondant au principe 6 de l'universalité, les bacs de stockage sont équipés de balances et applications pour récompenser, motiver et stimuler les utilisateurs, et répondant aussi au principe 10 de l'action préalable.



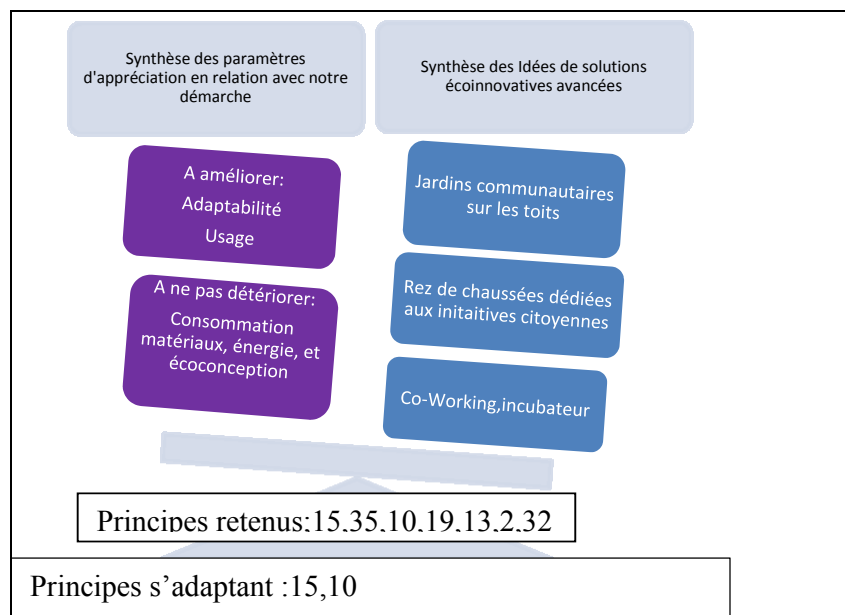
Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

Défi 3 : Quartier participatif

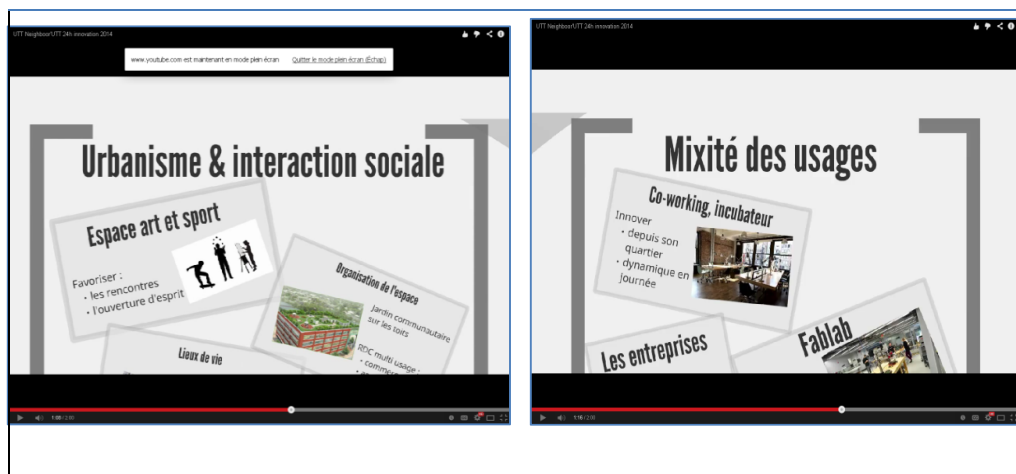
Un Quartier d'innovation, générateur d'un écosystème social, de l'innovation culturelle, pédagogique et technologique.

La proposition doit inclure des stratégies pour faciliter la participation des citoyens dans tous les aspects de la vie communautaire.

Reformulation de la problématique :



Interprétation : Les idées de jardins communautaires sur les toits ainsi que l'utilisation des rez de chaussée des immeubles pour les initiatives citoyennes répondent au principe 15, de la mobilité, d'utilisation optimale et d'adaptabilité de l'environnement immédiat. Le principe 10, de l'action préalable trouve aussi sa place dans les idées avancées.



Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

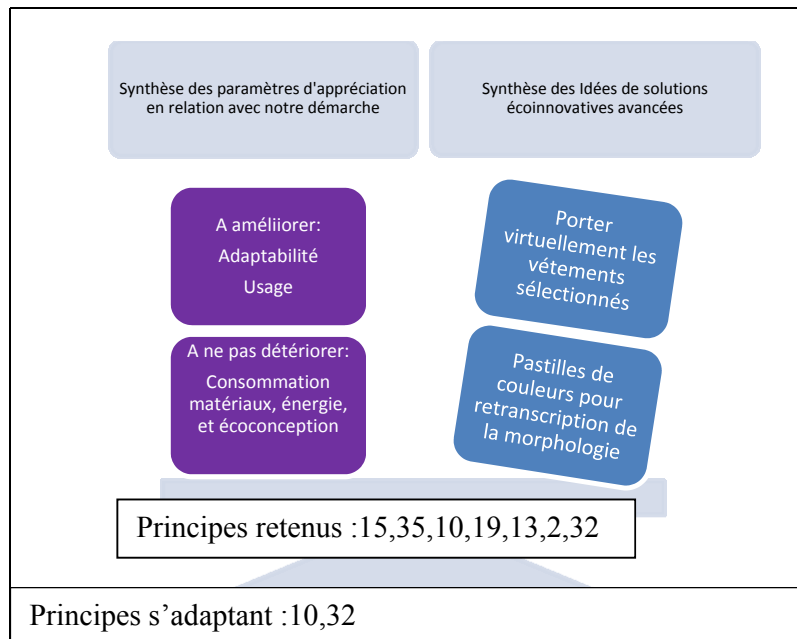
Défi 12 : Comment vendre à distance un produit

Certains consommateurs sont craintifs envers l'achat en ligne. Comment créer une interaction entre les consommateurs et l'entreprise afin de recréer ou simuler l'expérience client qui permettrait d'optimiser le processus d'achat ?

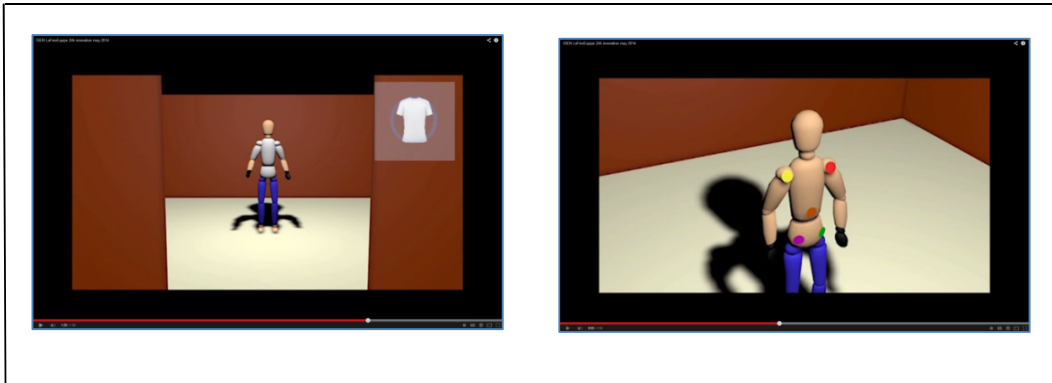
L'optimisation du processus d'achat passe par une facilité d'utilisation et une adaptabilité au processus par le client. Ceci lui permettra d'acquérir son produit et être sûr qu'il est à sa taille. L'exemple en est donné pour l'achat d'un tee shirt en ligne.

Parmi les idées avancées, lors de l'achat d'un tee-shirt, le client doit définir sa morphologie en plaçant des pastilles de différentes couleurs sur des positions stratégiques de son corps afin de transcrire au mieux sa morphologie, notamment sur la largeur d'épaule et des hanches ainsi qu'un capteur supplémentaire qui détermine si l'utilisateur se trouve de face ou de dos.

Grâce à une application informatique les pastilles sont repérées et le *tee shirt* est affiché en faisant coïncider les positions hautes du corps de l'utilisateur avec les positions des épaulières du *tee shirt*.



L'idée de port virtuellement du vêtement sélectionné répond au principe 10 de l'action préalable. Notre démarche méthodologique a aussi prévu le principe 32 de changement de couleur pour anticiper sur l'idée développée par l'équipe pour retracer la morphologie du client.



Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

Défi 14 : Comment un habitat intelligent pourrait augmenter le niveau de vie de ses habitants

Les nouvelles technologies intelligentes permettent de suivre plusieurs paramètres des maisons (température, éclairage, appareils informatiques, etc.) et un contrôle est maintenant disponible via les appareils intelligents (tablettes, téléphones, etc.).

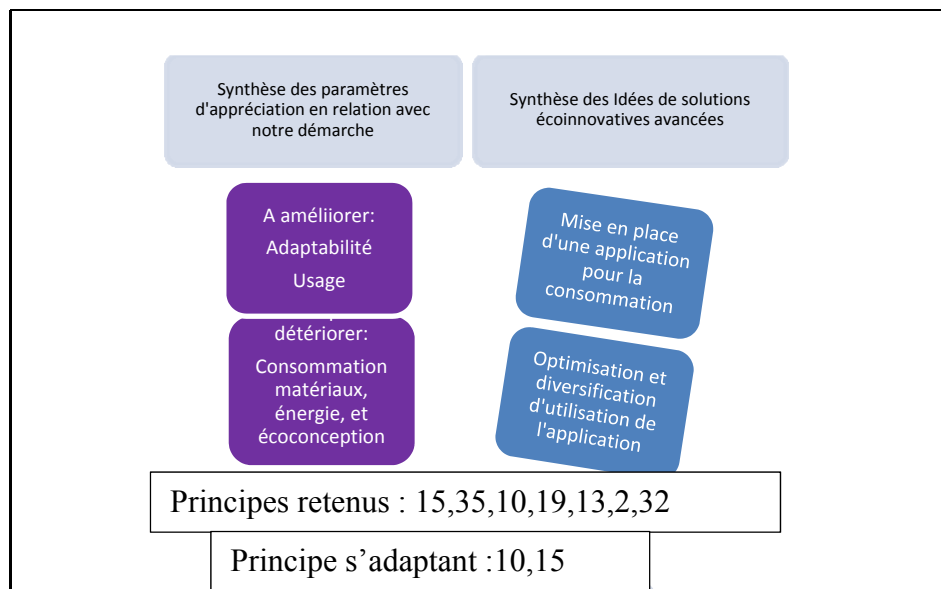
Il est demandé, comment un habitat intelligent (les principes de maison intelligente + les principes de la « gamification » + autres) pourrait-il améliorer le niveau de vie de ses habitants ?

Idées avancées

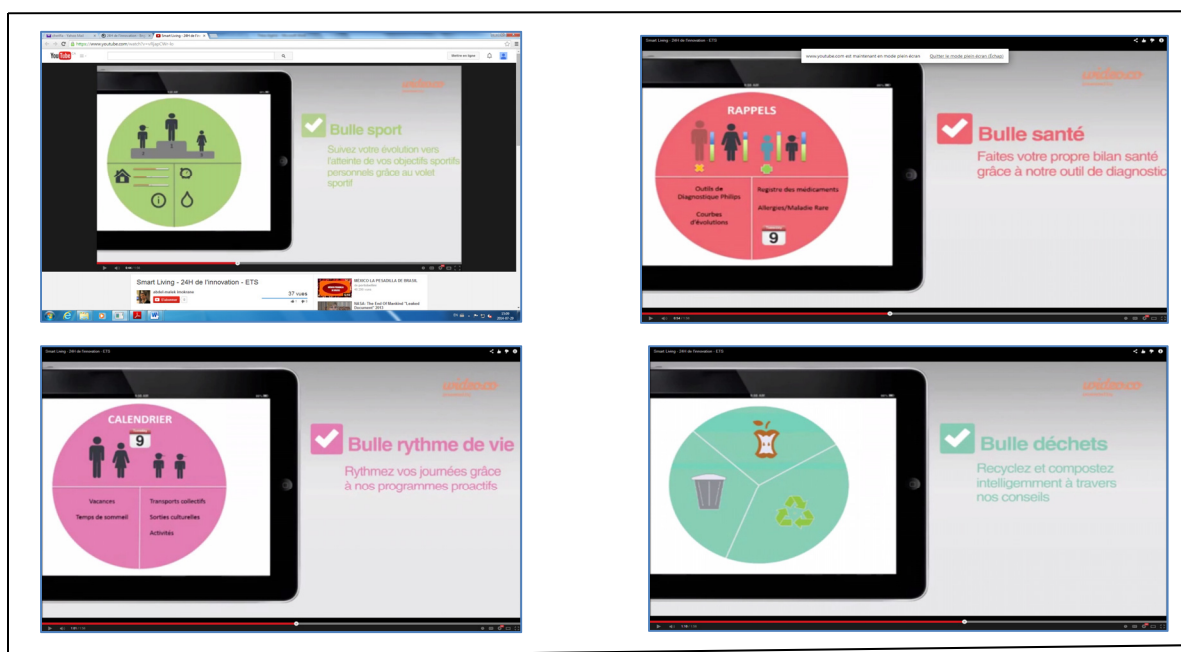
Optimiser les habitudes alimentaires, un scan sur différents achats permettra de créer une base de données des aliments et apports nutritifs. Chaque aliment rentre en interaction avec les besoins de chaque membre de la famille.

Une bulle sport par l'intermédiaire d'une application existante permet de compléter le bilan santé, de croiser les données avec le bilan nutrition. L'objectif étant de favoriser la pratique du sport dans le foyer, ensuite la bulle santé permettra de créer un diagnostic propre et un programme de gestion des médicaments. Une section rythme de vie de l'application, permettra, grâce au programme proactif à combiner les différents événements de la vie tels que sorties, transports ou activités.

La zone déchets a un rôle de prévention et d'aide à la famille pour gérer les excédents de manière éco-responsable. L'application, par l'intermédiaire de différents capteurs intégrés, peut faire un bilan énergétique de toutes les consommations.



Les idées de solutions pour ce défi sont en cohérence avec le principe 10, de l'action préalable à travers la mise en place d'une application qui prendra en charge chaque bulle liée au quotidien de la famille (Nutrition, santé, déchets, énergie). L'optimisation des caractéristiques de l'objet ou les conditions de fonctionnement optimales correspondent au principe 15, intitulé mobilié.



Source : <http://24h-innovation.agorize.com/en/challenge>

LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Articles publiés en journal

- A.Cherifi, M.Dubois , M.Gardoni, A.Tairi.2014. «A Catalyst Method for an Innovative Eco-design Strategy using TRIZ Approach » British journal of applied Science and technology. Volume- 4 Issue-28((ISSN: 2231-0843).
- A.Cherifi, M.Dubois , M.Gardoni, A.Tairi.2014.« Methodological approach for eco-innovative design based on inventive principles ». Publication in Vol. 158, Issue. 5 of SYLWAN Journal (Indexé ISI,Impact factor:0.263) (ISSN: 0039-7660).
- A.Cherifi, M.Dubois , M.Gardoni, A.Tairi.2014.« Establishment of a methodology for Eco-innovation based on inventive principle ». Publication in International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering Volume- 1, Issue-8 of September 2014 (Evaluation Innospace, Impact factor:1.039) (ISSN: 2349-2163).
- M.Gardoni A.Cherifi, M.Dubois.2014. « Methodology for innovative Ecodesign based on TRIZ», International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). Acceptée pour publication.

Articles de conférences avec proceeding

- A.Cherifi, M. Gardoni, A.Tairi, .2013. « Proposition of an eco design for an easy appropriation by companies » Technology management in IT Driven services (Picmet) 2013, Proceedings of Picmet'2013. IEEE Conferences PublicationsPage(s): 1113 – 1121.
- A.Cherifi, M.Dubois, M.Gardoni, A.Tairi .2014. « Establishment of a methodology for eco-innovation based on inventive principles » International conference on innovative Design and Manufacturing. 13-15 Aout 2014 Montréal.
- A Cherifi, M. Dubois, M. Gardoni, A. Tairi « Mise en Place d'une Méthodologie pour la Recherche de Solutions d'Écoconception Innovantes» CONFREGÉ 2014. Albi (France) 27,28 mai 2014.
- A.Cherifi.,M.Gardoni, D.Froelich, S.Tireche, Z.Kebbouche, A.Tairi. 2012 .« L'Ecoconception : revue des outils disponibles et classification pour une meilleure intégration au sein des entreprises » CONFREGÉ 2012. Montréal (Canada) 28,29 et 30 mai 2012.
- A.Cherifi., N.Kihal, M.Gardoni, A.Tairi,A .2012. «The life cycle analysis applied to determine environmental impacts in the pharmaceutical industry» PICMET'12

Conference.Vancouver (Canada).29 Juillet -02 Aout 2012.

A.Cherifi, M.Dubois , M.Gardoni, A.Tairi.2014. « The golden rules for eco-innovative design by using the TRIZ theory». IEOM, Mars 2015 DUBAI. Accepté (conférence à venir)

BIBLIOGRAPHIE

- ADEME.1990. « Conception des produits et environnement : exemples d'écoconception », *ADEME Éditions*, Mai , ISBN 2-86817-398-5, Paris.
- Altshuller, G. S. 1984b. «And suddenly the inventor appeared». *Technical Innovation Center, Ideation International*.
- Altshuller, G. S. 1984a. «Creativity as an Exact Science». New York, Gordon and Breach *Science Publishers*.
- Altshuller, G. S. 1985a. «Algorithm for Solving Inventive Problems ARIZ-85C».
- Amidon, D. 1997. «Innovation et management de connaissances». Editions d'Organisation.
- Ammenberg, J., Sundin, E. 2005. «Products in environmental management systems: drivers, barriers and experiences». *Journal of Cleaner Production*, vol. 13 (4), pp 405-415.
- Association Française de Normalisation(AFNOR). 2003. « Dictionnaire du développement durable ».Saint-Denis-la Plaine Cedex :Editions de l'AFNOR,283 p.
- Azapagic A., Clift R.1999. « Life cycle Assessment and Multiobjective Optimisation». *Journal of Cleaner production*, Vol. 7, PP135-143,1999.
- Baumann, H., Boons, F., Bragd, A. 2002. «Mapping the green product development field: engineering, policy and business perspectives», *Journal of Cleaner Production*, 10, pp409-425.
- Baylis, R., Connell, L., Flynn, A.1998.« Company size, environmental regulation and ecological modernization :further analysis at the level of the firm », *Business strategy and the environment*» 7(3),pp285-296.
- Bekker, C. 1995. «Environmental information for industrial designers». Delft University of Technology, Delft.
- Benjamin, Tyl. 2011. « L'apport de la créativité dans les processus d'éco-innovation Proposition de l'outil EcoASIT pour favoriser l'éco-idéation de systèmes durables ».Thèse de Doctorat Université de Bordeaux.
- Bertoluci G., Millet D.2009. « Functional product enrichment and supply chain disorganisation :two barriers for sustainable design », *International Journal of Product Development*-Vol. 7, N ½ PP. 149-169,2009.

- Bhamra, Evans, McAloone, Simon, Poole et Sweatman. 1999. «Integrating environmental decisions into the product development process : Part 1 The early stages. Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing». Proceedings. EcoDesign'99 : First International Symposium, pp. 329 -333.
- Blossier.J.E.2002. «Guide d'initiation à TRIZ». INSA Strasbourg.
- Boiral, O. 2010. « Peut-on mesurer les performances de développement durable ». Les cahiers de la série scientifique.
- Boldrini, J. C. 2005.«L'accompagnement des projets d'innovation. Le suivi de l'introduction de la méthode TRIZ dans des entreprises de petite taille». Faculté de Sciences Économiques et de Gestion. France, Université de Nantes.
- Bras, B. 1997. « Incorporating Environmental Issues in Product Design and Realization, Industry and Environment». Special Issue on Product Design and the Environment, UNEP Industry and Environment, vol. 20 (1-2) .
- Brezet, J.C. 1997. « Dynamics in ecodesign practice». Industry and Environment, Special Issue on Product Design and the Environment, UNEP Industry and Environment, vol 20 (1-2).
- Brezet, J.C., Van Hemel C. 1997. « Ecodesign : A Promising approach to sustainable production and consumption». PNUE, Paris.
- Byggeth,S., Hochschorner, E. 2006. « Handling trade-offs in Ecodesign tools for sustainable product development and procurement », Journal of cleaner production 14 (2006) 1420-1430.
- Buttel-Bellini B., Janin M. 2004. « Ecoconception: état de l'art des outils disponibles » .Techniques de l'ingénieur, traité environnement, G6010.
- Cavallucci, D. and Lutz, P. 1997. «TRIZ, Un concept nouveau de résolution de problème d'innovation». Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel.
- Cavallucci, D. and Lutz, P. 1997b. « TRIZ, une nouvelle théorie d'aide à l'innovation industrielle». La Revue Française de Gestion Industrielle (RFGI) 16-N°3: 15-23.
- Cavallucci, D. and Lutz, P. 1998. «TRIZ, Une nouvelle approche de résolution des problèmes d'innovation». International Journal of design and innovation research (IJODIR) 1.

- Cavallucci, D. 1999a. «Contribution à la conception de nouveaux systèmes mécaniques par intégration méthodologique». France, Université de Strasbourg 1.
- Cavallucci, D. 1999b. «TRIZ : l'approche altshullerienne de la créativité». Techniques d'ingénieur.
- Cavallucci, D. and Weil, R. D. 2001. «Integrating Altshuller's Development Laws for Technical Systems into the Design Process». CIRP Annals – Manufacturing Technology.
- Cavallucci, D., Lutz, P. et al. 2002. «Converging in problem formulation : a different path in design». ASME Design Engineering Technical Conferences, Canada (Montreal).
- Cavallucci, D., Rousselot, F. et al. (2009). «Linking Contradictions and Laws of Engineering System Evolution within the TRIZ Framework». Blackwell Publishing.
- Chang et Chen.2004. «The conflict-problem-solving CAD software integrating TRIZ into eco-innovation». Advances in Engineering Software, 35 (8-9), pp. 553–566.
- Chen, J.L.2003. « Eco-Innovative examples for 40 TRIZ inventive principles. The TRIZ journal.
- Chen, J.L., Liu C-C. 2001. «An eco-innovative design approach incorporating the TRIZ method without contradiction analysis». The Journal of Sustainable Product Design 1, pp. 263– 272, 2001.
- Cherifi.A, Dubois.M , Gardoni.M, A.Tairi.2014.«A Catalyst Method for an Innovative Eco-design Strategy using TRIZ Approach » Accepté pour publication in British journal of applied science and technology. Volume- 4 Issue-29((ISSN: 2231-0843).
- Cherifi.A, Dubois.M , Gardoni.M, A.Tairi.2014.« Methodological approach for eco-innovative design based on inventive principles ». Publication in Vol. 158, Issue. 5 of SYLWAN journal (ISSN: 0039-7660).
- Cherifi.A, Froelich.D, Tairi.A, Hacemi,M.T.2010. « Response to a temporal Data fluctuation during The Stock taking of a life Assessment. Contribution to Assessment of uncertainty ». Canadian Journal on Scientific and Industrial Research.Vol. 1 No. 2, September 2010.
- Cherifi.A, Gardoni.M, A.Tairi.2013. « Proposition of an ecodesign for an easy appropriation by companies » Technology management in IT Driven services (Picmet) 2013, Proceedings of Picmet'2013. IEEE Conferences PublicationsPage(s): 1113 – 1121.

- Cherifi.A, Dubois.M , Gardoni.M, A.Tairi.2014.« Establishment of a methodology for eco-innovation based on inventive principles» International conference on innovative Design and Manufacturing. 13-15 Aout 2014 Montréal.
- Cherifi.A, Dubois.M , Gardoni.M, A.Tairi.2014. « Mise en Place d'une Méthodologie pour la Recherche de Solutions d'Écoconception Innovantes' CONFREGÉ 2014. Albi (France).
- Cherifi.A,M.Gardoni, D.Froelich, S.Tireche, Z.Kebbouche, A.Tairi. 2012 .
«L'Ecoconception : revue des outils disponibles et classification pour une meilleure intégration au sein des entreprises » CONFREGÉ 2012. Montréal (Canada).
- Cherifi. A, N.Kihal, M.Gardoni, A.Tairi,A .2012. «The life cycle analysis applied to determine environmental impacts in the pharmaceutical industry» PICMET'12 Conference.Vancouver (Canada).
- Choulier D. 2008. « Comprendre l'activité de conception». Edition Université de technologie de Belfort-Montbéliard.
- Christophe. 2013. «Les nids de poules font de l'énergie». Electricloveinfo.
<http://www.electriclove.info/2013/les-nids-poules-font-energie>
- Cortes Robles, G. 2006. « Management de l'innovation technologique et des connaissances, synergie entre la théorie TRIZ et le raisonnement à partir de cas». Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse.
- Cramer, J. M., Tukker, A.1998. «Product innovation and eco-efficiency in theory». Kluwer Academic Publishers.
- Čuček, L., Klemeš, J.J. and Kravanja, Z. 2012. «A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability», *Journal of Cleaner Production*, Recent Cleaner Production Advances in Process Monitoring and Optimisation, Vol. 34, pp. 9–20.
- Cucuzzella, C., de Coninck, P. 2008. «The Precautionary Principle as a Framework for Sustainable Design: Attempts to Counter the Rebound Effects of Production and Consumption». First international conference on Economic Degrowth for Ecological Sustainability and Social Equity, April 18-19th, Paris.
- Cucuzzella, C.2008. « The limits of Current evaluation methods in a context of sustainable design: Prudence as a new framework » proceedings of IDMME – Virtual Concept 2008, October 8-10, Beijing, China.
- Daoud,W. 2009. « Développement d'un système de management intégré de l'écoconception des appareillages électriques de moyenne tension ».Thèse Doctorat, Ensam Chambéry.

- Dewulf, W. 2003. « A Pro-Active Approach to ecodesign :methodes and tools,Ecodesign in central America».PhD Thesis Katolieke Universiteit Leuven,Leuven,2003,ISBN 90-5682-419-8.
- Detournay.C. 1995. «Caisse-palette repliable». Nr EP 0681964 A1
<http://www.google.com/patents/EP0681964A1?cl=fr>
- Dobers, P., Strannegård, L .2005. «Design, lifestyles and sustainability. A esthetic consumption in a world of abundance». Business Strategy and the Environment 14(5), pp. 324–336.
- Domb, E. and Rantanen, K. 2002. «Simplified TRIZ, New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals» . St. lucie press.
- Dubois, S. 2004. «Contribution à la Formulation des Problèmes en Conception de Systèmes Techniques. Étude basée sur la TRIZ». Université Louis Pasteur – Strasbourg I.
- Dewberry, E. L., de Barros Monteiro, M. 2009. « Exploring the need for more radical sustainable innovation: what does it look like and why? » International Journal of Sustainable Engineering 2(1), pp. 28 — 39.
- Fresner, J., Jantschgi, J., Birkel, S., Bärnthaler, J., Krenn, C. 2010. «The theory of inventive problem solving (TRIZ) as option generation tool within cleaner production projects». Journal of Cleaner Production 18(2), pp. 128-136.
- Fussler C., James P. 1996. « Driving eco-innovation, London»: Pitman.
- Gaucheron, T. 2000. «Intégration du recyclage en conception le modèle produit». thèse de doctorat de l'INP Grenoble.
- Gerstenfeld, A., Roberts, H. 2000. «Size Matter - Barriers and prospects for environmental management in small and medium-sized enterprises», in [Hillary 00], pp106-118.
- Giorgi Franck De.2012. «Système de déneigement et de dégel pour un véhicule terrestre à moteur, et véhicule ainsi équipé . Avril 2012 Nr WO 2012049394.
- Graedel, T.E. 1998.« Streamlined life cycle assesment » New Jersey :Prentice-Hall,310 p.
- Gonzalez-Garcia, S., Garcia-Lozano, R., Buyo,P. 2012. « Eco-innovation of a wooden based modular social playground :application of LCA and DFE methodologies », Journal of cleaner production 27(2012)21-31
- Graedel, T. E. 1998. «Streamlined life-cycle assessment (1e éd.) ». New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

- Griffin, A. and Page, A. L. 1993. «An interim report on measuring product development success and failure». Product Innovation Management.
- Hatchuel, A., Weil, B. 2002. «La théorie C-K : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception». Conférence Plénière Invitée, Colloque Science de la Conception, 15-16 mars, Lyon.
- Hatchuel, A., Weil, B. 2003. « A new approach of innovative design: an introduction to C-K theory». ICED'03, Stockholm, Suède.
- Hatchuel, A., Weil, B. 2009. «C-K design theory: an advanced formulation». Res Eng Design 19, pp. 181–192.
- Hillary, R. 2004. «Environmental management systems and the smaller enterprise». Journal of Cleaner Production 12, pp. 561–569.
- Hipple, J. 2002. «The Integration and Use of Myers Briggs Profiles within a TRIZ Problem Solving Session». TRIZ Journal.
- Ideation International Inc. 1984. «Tools of Classical TRIZ». Ideation International.
- ISO 14001. (2004). . « Environmental management systems». Requirements with guidance for use.
- ISO 26 000. 2010. « Lignes directrices relatives à la responsabilité sociétale » Octobre.
- ISO/TR 14062.2003. «Management environnemental – Intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement de produit». AFNOR, janvier.
- ISO/TR 14062.2002. « Management environnemental-intégration des aspects environnementaux dans la conception et le développement du produit ».Genève :ISO
- ISO 14001. 2004. « Système de management environnemental. Exigences et lignes directrices pour son utilisation». AFNOR, décembre 2004.
- Janin M. 2000. « Démarche d'écoconception en entreprise, un enjeu: construire la cohérence entre outils et processus », PhD thesis, ENSAM, Chambéry, France.
- Jones, E. 2003. «Eco-innovation: tools to facilitate early-stage workshop». PhD Thesis Department of Design, Brunel University.
- Johansson, G., Magnusson, T. 1998. «Eco-innovations : a novel phenomenon? », the Journal of Sustainable Product Design (7), pp7-15.

- Jolliet et al. 2005. « Analyse du cycle de vie: Comprendre et réaliser un écobilan »
Collection Gérer l'environnement. Les Presses polytechniques & universitaires
Romandes.
- Johansson, G. 2001. « Environmental performance requirements in product development. An
exploratory study of two development projects ». PhD Thesis, Department of
Mechanical Engineering, Linköping University.
- Jolliet et al. 2005. « Analyse du cycle de vie: Comprendre et réaliser un écobilan »
Collection Gérer l'environnement. Les Presses polytechniques & universitaires
Romandes.
- Jones, E., Stanton, N.A., Harrison, D. 2001. «Applying structured methods to Ecoinnovation:
An evaluation of the Product Ideas Tree diagram». Department of Design, Brunel
University, Runnymede Campus, Egham, Surrey TW20 0JZ, UK, Elsevier Science.
- Jones, E. 2003. «Eco-innovation: tools to facilitate early-stage workshop». PhD Thesis
Department of Design, Brunel University.
- Kengpol et Boonkanit, 2011. «The decision support framework for developing Ecodesign at
conceptual phase based upon ISO/TR 14062». International Journal of Production
Economics, 131(1), pp. 4-14.
- Khomenko et Sokol, 2000. «New models and methodology for teaching OTSM-
TRIZ».Extrait du cours.
- Kobayashi, H. 2006. « A systematic approach to eco-innovative product design based on life
cycle planning ». Advanced Engineering Informatics 20, pp. 113–125.
- Kurk,F., Eagan,P. 2008. « The value of adding design-for-the-environment to pollution
prevention assistance options », Journal of cleaner production 16 (2008) 722-726.
- Labuschagne, C., Brent A.C. van Erck, R.P.G.2005. «Assessing the sustainability
performances of industries». Journal of Cleaner Production 13(4), pp. 373-385.
- Lagerstedt. 2003. « Functional and environmental factors in early phases of product
development-Eco Functional Matrix». Thèse de Doctorat, KTH Machine Design.
- Lepochat S.2005. « Intégration de l'écoconception dans les PME: proposition d'une
méthode d'appropriation de savoir faire pour la conception environnementale ».Thèse
de Doctorat, ENSAM, Chambéry 2005.
- Lewis, H. Gertsakis, j .2001. « design + Environment . A global guide to designing greener
goods».United Kingdom :greenleaf publishing limited, 200p.

- Le Nagard-Assayag, E. and Manceau, D. 2001. «New product preannouncements in the context of indirect network externalities». *International journal of research in Marketing*: 203–219.
- Lindhahl, 2006. «Engineering designers' experience of design for environment methods and tools – Requirement definitions from an interview study». *Journal of Cleaner Production*, 14(5), pp. 487-496.
- Lindhahl, M. 2000. « Engineering designers experience of design for environment methods and tools « Requirement definitions from an interview study». *Journal of Cleaner Production* 14, pp. 487-496.
- Lindow, K., Woll, R. and Stark, R. 2012. «A Conceptual Framework for Sustainable Engineering Design», in Dornfeld, D.A. and Linke, B.S. (Eds.), *Leveraging Technology for a Sustainable World*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 197–202.
- Lofthouse V., 2006. «Ecodesign tools for designers defining the requirement». *Journal of Cleaner Production* 14 (2006) 1386-1395.
- Low, M.K., Lamvik, T., Walsh, K., Myklebust, O. 2000. «Product to service ecoinnovation: the TRIZ model of creativity explored». *Electronics and the Environment, 2000. ISEE 2000, Proceedings of the IEEE International Symposium*.
- Lusseau Cédric, Gendre Lionel. 2010. *TRIZ :Une méthodologie d'aide à l'invention*. Sciences de l'ingénieur.
- Luttrupp, C., Karlsson, R. 2001. « The conflict of contradictory environmental targets». *EcoDesign, 2nd International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing*, Tokyo.
- Luttrupp et Lagerstedt, 1999. «Customer benefits in the context of life cycle design. Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing. EcoDesign'99» . *First International Symposium*, pp. 482-487.
- Luttrupp, C., Lagerstedt, J. 2006. «EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development». *Journal of Cleaner Production* 14, pp.1396-1408.
- Luseau, C. 2010. «TRIZ : une méthodologie d'aide à l'invention». *Sciences de l'ingénieur. TRIZ journal*.
- Manzini, E. 1993. «Values, Quality and Sustainable Development - the role of the cultural factor in the environmental reorientation of the system of production and consumption». *Clean Production Strategies*. T. Jackson, Lewis Publishers, pp. 367-386.

- Marchand, A., De Coninck, P., Walker, S. 2005. «Les consommations responsables: Perspectives nouvelles dans les domaines de la conception de produits». Dossier l'écocitoyenneté - NPS, vol. 18, n° 1, pp. 39-56.
- Mathieux, F. 2002. « Contribution à l'intégration de la valorisation en fin de vie dès la conception d'un produit – Une méthode basée sur l'évaluation multicritères de la recyclabilité du produit et sur l'identification de ses points faibles de conception». Thèse de doctorat, ENSAM, Chambéry.
- Mazur, G. 1996. «Theory of problem solving». TRIZ journal.
- Morrison, P. D., Roberts, J. H. et al. 2000. «Determination of user innovation and innovation sharing in a local market». *Management Science*: 1513-1527.
- Millet, D. 2003. « Intégration de l'environnement en conception – L'entreprise et le développement durable». Hermès Science Publications, Lavoisier, Paris.
- Meylan, C. 2007. « Système TRIZ de stimulation de la créativité et d'aide à l'innovation, Méthodes pratiques pour la résolution de problèmes techniques et la recherche de nouvelles opportunités d'affaires».
- Milled, Nadia. 2012. «L'Ecoconception: une opportunité d'innovation dans le respect de la nature ». 2ème Congrès Transformare. 19-20 mars 2012, Paris.
- Miller, J. and Domb, E. 2001. «Using the 76 standards solutions : a case study for improving the word food supply». TRIZ journal.
- Millet, D., et al. 2011. «Intégration de l'environnement en conception- L'entreprise et le développement durable». Ed. Hermès Lavoisier, Paris, chapitre N°4.
- Mylene fugeer. 2009. « Intégration des critères de conception et de l'analyse de cycle de vie simplifiée pour l'écoconception de produits à usage unique». Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Maîtrise en Génie Chimique. École Nationale Polytechnique. Montréal
- Oehlberg, L., Bayley, C., Hartman, C. and Agogino, A. 2012. "Mapping the Life Cycle Analysis and Sustainability Impact of Design for Environment Principles", in Dornfeld, D.A. and Linke, B.S. (Eds.), *Leveraging Technology for a Sustainable World*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 221–226.
- Oltra & Maider, .2003. « the dynamics of environmental innovations: Three stylised trajectories of Clean Technology ». IFRede-E3-GRES, www.gres-so.org

- O'Hare, J.A. 2010. «Eco-innovation tools for the early stages: an industry-based investigation of tool customisation and introduction». PhD Thesis Department of Mechanical Engineering, University of Bath.
- Oltra & Maider.2003. «The dynamics of environmental innovations: Three stylised trajectories of Clean Technology». IFRede-E3-GRES, www.gres-so.org
- Olivier L, Brunot T.2007.«Semelle pour chaussure». Publication Patent. Nr WO2007036637 A1.2007. www.google.com/patents/EP1928277A1?cl=fr.French
- El-Harrache,O.2011. «Déneigement par un parapluie chauffant (pare-neige) ». Juillet 2011.Nr CA 2691291 A1.
<http://www.google.com/patents/CA2691291A1?cl=fr>
- Papanek, V. 1971. «Design for the realt World». Thames and Hudson Ltd .
- Papanek V. 1974. «Design pour un monde réel». Mercure de France, Paris.
- Papanek V. 1995. «The Green Imperative. Ecology and Ethics in Design and Architecture». Thames and Hudson, London, UK.
- Papanek V. 1996. «The birth of a new esthetic». Catalogue américain de l'exposition Re(f)use, Arango Design Foundation, Miami, p. 61-63.
- Park, P-J, Tahara, K.2007. « Quantifying producer and consumer-based ecoefficiencies for the identification of key ecodesign issues». Journal of Cleaner Production 16(1), pp. 95-104.
- Perrin, J. 2001. «Concevoir l'innovation industrielle : Méthodologie de conception de l'innovation». CNRS Editions.
- Princaud, M. 2011. « Développement d'un outil d'aide à la décision environnementale basé sur l'analyse du cycle de vie intégré au processus de conception ». Thèse de Doctorat ENSAM Paris.
- Personne, M.1998. « Contribution à la méthodologie d'intégration de l'environnement dans les PME-PMI : évaluation des performances environnementales ».Thèse de Doctorat,INSA,Lyon.
- Perrin-Bruneau, F. 2005. «Proposition d'une démarche d'intégration de nouvelles méthodes en conception : éléments pour la définition du rôle de l'intégrateur».Thèse de doctorat, ENSAM, Paris.

- Peach, N. 2007. «Directional Certainty in Sustainability-Oriented Innovation Management». chapitre de *Innovations Towards Sustainability*, Lehmann- Waffenschmidt, M.(ed), published in Physica-Verlag HD.
- Pigosso, D.C.A. and Rozenfeld, H. 2012. «Ecodesign Maturity Model: the Ecodesign Practices», in Matsumoto, M., Umeda, Y., Masui, K. and Fukushige, S. (Eds.), *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society*, Springer Netherlands, pp. 424–429.
- Poulikidou, S., Björklund, A. and Tyskeng, S. 2014. « Empirical study on integration of environmental aspects into product development: processes, requirements and the use of tools in vehicle manufacturing companies in Sweden», *Journal of Cleaner Production*, Vol. 81, pp. 34–45.
- Rapport Brundtland. 1987. «Commission mondiale sur l’environnement et le développement».
- Reyes-carillo, T.2007. « L’Ecoconception dans les PME : Les mécanismes du cheval de troie méthodologique et du choix de trajectoires comme vecteurs d’intégration de l’environnement en conception ».Thèse de Doctorat, Université de Toulon-Var.
- Reich, Y., Hatchuel, A , Shai, O, Subrahmanian, E.2010. « A theoretical analysis of creativity methods in engineering design: casting and improving ASIT within C-K theory». *Journal of Engineering Design*, First published on:July .
- Ritzen, S., Beskow,C.2001. « Actions for integrating environmental aspsects into product development »,The journal of sustainable Product Design (1),pp91-102.
- Roux,P., Patingre, J.F, Giroux,F, Naud,O. 2005.« Eco-technologies, écoconception, évaluation intégrée ». Académie d’agriculture de France.
- Russo, D., Regazzoni, D. 2008. «TRIZ Law of evolution as eco-innovative method». Proceedings of IDMME – Virtual concept, Beijing China October 8 – 10.
- Royzen, Z. 1996. « Solving Contradictions in Development of New Generation Products Using TRIZ». 2nd Annual Total Product Development Symposium.
- Ryan,C. 2003. « Learning from a decade of ecodesign experience».Part I *Journal of industrial Ecology* 7(2),pp10-12
- Spangenberg, J.H., Fuad-Luke, A., Blincoe, K. 2010. «Design for Sustainability (DFS): the interface of sustainable production and consumption». *Journal of Cleaner Production* 18, pp. 1485-1493.

- Scaravetti, D .2004. « Formalisation préalable d'un problème de conception, pour l'aide à la décision en conception préliminaire». Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers.
- Samet K.W.2010. « Développement d'une méthode d'éco-innovation : Eco- MAL'IN », Thèse de Doctorat ParisTech.
- Savane, M.2004. «Etiquette de triage». Sept 2004. Nr WO 2004075144 A.
- Savransky, S. D. 2000. «Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving». CRC Press.
- Stamminger, R., Barth, A., Door S. 2005. «Old Washing Machines Wash Less Efficiently and Consume More Resources»
- Simon, M., Evans, S., Mcaloon, T., Swetmann, A., Bhamra, T., Poole, S. 1998. «Ecodesign Navigator. A Key Resource in the Drive towards Environmentally Efficient». Product Design, Cranfield University, Manchester Metropolitan University and EPSRC.
- Sherwin et Evans.1998. «Ecodesign innovation : is 'early' always 'best'? » Design, 44, pp.112-117.
- Tatiana,R.C.2007. «l'écoconception dans les PME:les mécanismes du cheval de Troie méthodologique et du choix de trajectoires comme vecteurs d'intégration de l'environnement en conception».Thèse de Doctorat. Laboratoire ISMAA.Supmeca Toulon.
- Tischner, U., Nickel, R. 2003. « Eco-design in the printing industry. Life cycle thinking : implementation of eco-design concepts and tools into the routine procedures of ». The Journal of Sustainable Product Design, vol. 3, pp19-27.
- Tukker, A., Haag, E., Eder, P. 2000. « Ecodesign :European state of the art :comparative analysis and conclusions, and Ecodesign part II :Strategies for dissemination to SMEs », prepared for the European commission,ESTO,IPTS,Espagne.
- Turner, S. 2009. «ASIT-a problem solving strategy for education and eco-friendly sustainable design». International Journal of Technology and Design Education 19 (2).
- Tyl, B., Legardeur, J., Baldaccino, C.2011. «Développement d'un outil de créativité pour la génération d'éco-innovations». Congrès International sur l'Analyse du Cycle de Vie, Lille, Novembre 2011.
- Van der Ryn, S., Cowan, S. 1996. « Ecological Design » Island Press, USA

- Vallet, F., Eynard, B., Millet, D., Mahut, S.G., Tyl, B. and Bertoluci, G. 2013. «Using eco-design tools: An overview of experts' practices», *Design Studies*, Vol. 34 No. 3, pp. 345–377.
- Van Berkel, R., Willems, E., Lafleur, M. 1997. « Development of an industrial ecology toolbox for the introduction of industrial ecology in enterprises-International». *Journal of cleaner production* », 5 (1-2), pp 11-25.
- Van Lier, H. 2006. «L'individuation selon Gilbert Simondon»
- Vezzoli, C. 2006. « Design for sustainability: the new research frontiers». 7th Brazilian Conference on Design, Curitiba.
- Veshagh, A., Marval, S. and Woolman, T. 2012. «Making the Business Case for Eco-Design and Sustainable Manufacturing», in Dornfeld, D.A. and Linke, B.S. (Eds.), *Leveraging Technology for a Sustainable World*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 11–17.
- Vincent, B. 2007. «Céramique à base de mâchefers d'incinération d'ordures ménagères» Nr EP 1215182B1 Publication patent May 2007
- Vicente, G. and Jose, M. 2010. «A rule of thumb to elucidate the physical contradiction». 10th ETRIA world TRIZ future conference. bergamo university press. Italy.
- Wallish, P. 2003. « Artificial creativity». University of Chicago,
- World Commission on Environment and Development .1987. « Brundtland Report, Our common future ». United Nations, WCED, Oxford University Press.
- Wiggum, K.S. 2004. «Human and ecological problem solving through radical design thinking». PhD Thesis, Department of Product Design Engineering, Faculty of Engineering Science and Technology.
- World Business Council for Sustainable Development .1999. «Eco-Efficiency Indicators: A tool for better Decision-Making». Technical Report.
- Yang, C.J., Chen, J.L. 2011. « Accelerating preliminary eco-innovation design for products that integrates case-based reasoning and TRIZ method ». *Journal of Cleaner Production*, doi:10.1016/j.jclepro.2011.01.014.
- Yung-Chin, H. 2005. «Creative Solution from TRIZ for the Business Contradiction in Red Ocean Strategy». *TRIZ journal*.

Sites internet

<http://www.time-to-innovate.com>

http://www.triz40.com/aff_Matrice_TRIZ.php

<http://www.google.com/patents/EP1215182B1?cl=fr.French>

http://www.lascap.de/Downloads/ARTIFICIAL_CREATIVITY.pdf

<http://www.google.com/patents/WO2004075144A1?cl=fr>

<http://24h-innovation.agorize.com/en/challenges>

<http://www.google.com/patents/WO2012049394A2?cl=fr>

